

DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS EM ÁFRICA E NA AMÉRICA LATINA: ANÁLISE DE MANUAIS DE PRÉ-DIMENSIONAMENTO

STEEVE BARROSO DOS SANTOS

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM VIAS DE COMUNICAÇÃO

Orientadora: Professora Doutora Cecília Maria Nogueira Alvarenga Santos
do Vale

Coorientador: Professor Doutor Jaime Manuel Queirós Ribeiro

JUNHO DE 2015

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2014/2015

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2014/2015 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2015*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

À minha família e amigos, pelo apoio incondicional.

Luck is an attitude

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar a minha gratidão a todos os que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

À Professora Doutora Cecília Vale, por me ter orientado durante este trabalho, pelas sugestões e por toda a compreensão que demonstrou para comigo na concretização do mesmo

Ao Professor Doutor Jaime Queirós Ribeiro, por ter aceitado coorientar o meu trabalho.

À senhora Guilhermina Castro por toda a paciência demonstrada e por todo o apoio ao longo deste trabalho.

À minha família que me deu força para continuar, e que sempre acreditou em mim. À minha mãe, Rosa Maria, ao meu pai, Jorge Ferreira, um especial obrigado, porque a eles lhes devo toda a educação e formação adquirida. Sem eles nunca seria a pessoa que sou hoje.

Às minhas irmãs, Justine e Anaïs, que apesar da distância, sempre me transmitiram a segurança e o apoio necessário para a elaboração deste trabalho.

À minha namorada, Tânia Costa, que sempre me apoiou ao longo destes três anos como aluno da FEUP e que apesar da distância e de todas as adversidades, esteve sempre comigo nos momentos mais precisos.

Aos meus amigos de faculdade e a todos os meus amigos da residência Jaime Rios de Sousa, que partilharam comigo os momentos únicos e inesquecíveis, de viver numa residência universitária.

RESUMO

O sector da construção rodoviária, encontra-se, hoje em dia, em Portugal, estagnado e saturado, não havendo oportunidades para a construção de novas infraestruturas em Portugal. Desta forma, as empresas desta especialidade, voltam-se, cada vez mais, para o mercado estrangeiro, sendo os principais alvos, os países de África e da América Latina, que recentemente têm verificado um exponencial desenvolvimento económico.

De modo a que empresas de especialidade rodoviária se introduzam em mercados estrangeiros, estas necessitam de conhecer os materiais de pavimentação disponíveis e de adaptar-se aos processos de dimensionamento de pavimentos dos países em que se pretendem fixar. Para dar resposta a esta necessidade, nesta dissertação são identificados e descritos os principais manuais de pré-dimensionamento de pavimentos rodoviários em África e na América Latina.

Foram seis os manuais analisados e para cada um deles são descritas as metodologias de pré-dimensionamento e definidos os parâmetros de entrada que permitem obter os catálogos de estruturas de cada manual.

Após o estudo de cada um dos manuais é feita uma análise comparativa entre eles, de modo a identificar as principais diferenças na conceção dos pavimentos dos respetivos catálogos de estruturas.

Em seguida, como caso de estudo, é verificada a aplicabilidade do catálogo de estruturas de pavimentos rodoviários do manual sul-africano a países localizados no sul de África, tais como Angola e Moçambique, países de potencial interesse económico para as empresas portuguesas do setor da construção rodoviária.

Por último são indicadas as principais conclusões do trabalho efetuado.

PALAVRAS-CHAVE: pré-dimensionamento de pavimentos rodoviários, África, América Latina, catálogo de estruturas de pavimentos, temperatura, tráfego.

ABSTRACT

The road construction sector, is nowadays in Portugal, stagnant and saturated, with no opportunities to build new infrastructure in Portugal. In this way, companies of this specialty, increasingly turn to foreign market, being the main targets, the countries of Africa and Latin America, which have recently seen an exponential economic development.

So that road specialty companies are introduced in foreign markets, they need to know the paving materials available and adapt to the pavement design processes of the countries they want to work on. To meet this need, in this thesis are identified and described the main pre-dimensioning manuals of road in Africa and Latin America.

There were six manuals analyzed and for each of the methods are described the pre-dimensioning methods and defined input parameters to obtain each manual structures catalogs.

After the study of each of the guides it is done a comparative analysis between them, in order to identify major differences in the design of the respective pavement structures catalogs.

Then, as a case study, it is verified the applicability of the catalog of road pavement structures of South Africa's manual to countries located in southern Africa, such as Angola and Mozambique, countries of potential economic interest for Portuguese companies in the road construction sector.

Finally they are given the main conclusions of the work done.

KEYWORDS: pre-dimensioning of road pavements, Africa, Latin America, catalog of road pavement structures, temperature, traffic.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	III
ABSTRACT	V
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 ÂMBITO DE APLICAÇÃO	1
1.2 OBJETIVOS	2
1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	3
2. MANUAIS DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS EM ÁFRICA	5
2.1 INTRODUÇÃO	5
2.2. MANUAL SATCC	6
2.2.1. TRÁFEGO	7
2.2.1.1. Período de dimensionamento	7
2.2.1.2. Classe de tráfego	8
2.2.2. CLASSE DE FUNDAÇÃO	9
2.2.3. CONDIÇÕES CLIMATÉRICAS	9
2.2.4. MATERIAIS DE PAVIMENTAÇÃO	11
2.2.5. CRITÉRIOS DE RUÍNA	11
2.2.6. ESTRUTURAS DE PAVIMENTO INDICADOS PELO MANUAL DA SATCC	11
2.3. MANUAL DO CEBTP	14
2.3.1. TRÁFEGO	15
2.3.1.1. Período de dimensionamento	15
2.3.1.2. Classes de tráfego	15
2.3.2. CLASSE DE FUNDAÇÃO	16
2.3.3. CONDIÇÕES CLIMÁTICAS	16
2.3.4. MATERIAIS DE PAVIMENTAÇÃO	17
2.3.5. CRITÉRIOS DE RUÍNA	19
2.3.6. ESTRUTURAS DE PAVIMENTO INDICADOS PELO MANUAL DO CEBTP	19
2.4. ANÁLISE COMPARATIVA DOS MANUAIS AFRICANOS	21

2.4.1. TRÁFEGO	21
2.4.2. CONDIÇÕES DE FUNDAÇÃO	22
2.4.3. CONDIÇÕES CLIMÁTICAS	23
2.4.4. MATERIAIS DE PAVIMENTAÇÃO	23
2.4.5. QUADRO RESUMO	23

3. MANUAIS DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS NA AMÉRICA DO SUL

3.1 INTRODUÇÃO	25
3.2. MANUAL DO INVIAS	26
3.2.1. TRÁFEGO	26
3.2.1.1. Período de dimensionamento	26
3.2.1.2. Classes de tráfego	27
3.2.2. REGIÕES CLIMÁTICAS	29
3.2.3. CLASSE DE FUNDAÇÃO	30
3.2.4. MATERIAIS DE PAVIMENTAÇÃO	30
3.2.5. CRITÉRIOS DE RUÍNA	ERRO! MARCADOR NÃO DEFINIDO.
3.2.6. ESTRUTURAS DE PAVIMENTO INDICADOS PELO MANUAL DO INVIAS	32
3.3. MANUAL DESENVOLVIDO PELA SCT	34
3.3.1. TRÁFEGO	34
3.3.1.1. Período de dimensionamento	34
3.3.1.2. Classes de Tráfego	34
3.3.2. REGIONALIZAÇÃO DA REPÚBLICA MEXICANA: CONDIÇÕES CLIMÁTICAS E GEOTÉCNICAS	35
3.3.3. MATERIAIS DE PAVIMENTAÇÃO	38
3.3.4. CRITÉRIOS DE RUÍNA	39
3.3.5. ESTRUTURAS DE PAVIMENTO INDICADOS PELO MANUAL SCT	39
3.4. MANUAL DE CARRETERAS: “SUELOS, GEOLOGÍA, GEOTECNIA Y PAVIMENTOS”	42
3.4.1. TRÁFEGO	42
3.4.1.1. Período de dimensionamento	42
3.4.1.2. Classes de Tráfego	42
3.4.2. CLASSE DE FUNDAÇÃO	44
3.4.3. MATERIAIS DE PAVIMENTAÇÃO	45
3.4.4. CRITÉRIOS DE RUÍNA	45

3.4.5. ESTRUTURAS DE PAVIMENTO INDICADOS PELO <i>MANUAL DE CARRETERAS</i>	45
3.5. MANUAL DO DNER	48
3.5.1. TRÁFEGO	48
3.5.2. FATOR CLIMÁTICO REGIONAL	50
3.5.3. ESPESSURA MÍNIMA DE REVESTIMENTO BETUMINOSO	50
3.5.4. ESPESSURA TOTAL DO PAVIMENTO	51
3.5.5. CRITÉRIOS DE RUÍNA	52
3.6. ANÁLISE COMPARATIVA DOS MANUAIS DA AMÉRICA LATINA	53
3.6.1. TRÁFEGO	53
3.6.2. CONDIÇÕES DE FUNDAÇÃO	55
3.6.3. CONDIÇÕES CLIMÁTICAS	55
3.6.4. QUADRO RESUMO	56
 4. CASO DE ESTUDO: A APLICABILIDADE DO MANUAL DO SATCC A DIFERENTES PAÍSES AFRICANOS	59
4.1. INTRODUÇÃO	59
4.2. SOLICITAÇÕES	62
4.2.1. TRÁFEGO	62
4.2.2. CONDIÇÕES CLIMATÉRICAS	63
4.2.2.1. Determinação da temperatura média anual ponderada do ar	65
4.2.2.2. Determinação da temperatura de serviço	67
4.3 CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DAS MISTURAS BETUMINOSAS	69
4.3.1 RIGIDEZ DO BETUME	69
4.3.2 MÓDULO DE DEFORMABILIDADE DAS MISTURAS BETUMINOSAS	75
4.3.2.1 Método da Shell	75
4.3.2.2 Método de Nottingham	80
4.4 CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DAS CAMADAS GRANULARES E FUNDAÇÃO	84
4.4.1 FUNDAÇÃO	84
4.4.2 CAMADAS GRANULARES	85
4.5 CRITÉRIOS DE RUÍNA	86
4.5.1 CRITÉRIO DE FADIGA	86
4.5.2 CRITÉRIO DE DEFORMAÇÃO PERMANENTE	87
4.6 PROGRAMA DE CÁLCULO BISAR	87

4.7 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS.....	90
4.7.1 ESTRUTURAS DEFINIDAS PARA W1 COM REVESTIMENTO BETUMINOSO A QUENTE	90
4.7.1.1 Classe de tráfego T3.....	93
4.7.1.2 Classe de tráfego T4.....	93
4.7.1.3 Classe de tráfego T5.....	97
4.7.1.4 Classe de tráfego T6.....	100
4.7.1.5 Classe de tráfego T7.....	104
4.7.1.6 Classe de tráfego T8.....	107
4.7.2 ESTRUTURAS DA REGIÃO D1 COM REVESTIMENTO BETUMINOSO A QUENTE	111
4.7.2.1. Classe de tráfego T6.....	111
4.7.2.2. Classe de tráfego T7.....	111
4.7.2.3. Classe de tráfego T8.....	112
4.7.3 ESTRUTURAS COM REVESTIMENTO BETUMINOSO A FRIO.....	112
4.7.4 ANÁLISE SÍNTESE.....	115
4.7.4.1. Influência da localização.....	115
4.7.4.2. Influência do betume utilizado.....	115
4.7.4.3. Influência da velocidade de circulação.....	116
4.7.4.4. Relação velocidade/tipo de betume.....	116
4.7.4.5. Estrutura de pavimento D1 e estrutura W1	117
4.8 CONCLUSÕES.....	118
4.8.1 CONSIDERAÇÕES.....	119
 5. CONCLUSÕES E PERSPETIVA PARA INVESTIGAÇÃO FUTURA	 121
5.1 OBJETIVOS ATINGIDOS E CONCLUSÕES GERAIS.....	121
5.2 PERSPETIVA PARA INVESTIGAÇÃO FUTURA.....	122
 BIBLIOGRAFIA	 123
 ANEXOS.....	 125

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Países que adotam o manual SATCC.....	7
Figura 2.2 - Países que adotam o manual do CEBTP.....	14
Figura 3.1 - Regionalização da república mexicana segundo a temperatura, precipitação e qualidade do solo [4]	36
Figura 3.2 - Fator de agressividade em eixos simples e tandem para eixo padrão de 8,2 t [6]	49
Figura 3.3 - Espessura do pavimento de acordo com o manual do DNER [6]	51
Figura 4.1 - Localizações em estudo para o dimensionamento de pavimentos flexíveis.....	60
Figura 4.2 - Procedimento típico de dimensionamento empírico-mecanicista de pavimentos flexíveis.....	61
Figura 4.3 - Esquema adotado para a ação de um eixo padrão sobre o pavimento.....	63
Figura 4.4 - Nomograma de <i>Van der Poel</i> (para determinação da temperatura média anual ponderada do ar)	65
Figura 4.5 - Temperatura de serviço das camadas betuminosas.....	67
Figura 4.6 - Nomograma de <i>Van der Poel</i> para a determinação da rigidez do betume	70
Figura 4.7 - Nomograma para a previsão do módulo de deformabilidade das misturas betuminosas (Shell).....	76
Figura 4.8 - Introdução de dados referente à solicitação do tráfego no programa BISAR	88
Figura 4.9 - Introdução de dados relativa às características mecânicas dos materiais (BISAR)	89
Figura 4.10 - Localização dos pontos de interesse para a determinação das extensões verticais e horizontais máximas	89
Figura 4.11 - Aplicabilidade do manual a estruturas do tipo W1, de classe de tráfego T3	93
Figura 4.12 - Aplicabilidade do manual a estruturas do tipo W1, de classe de tráfego T4 e betume 40/50	94
Figura 4.13 - Número acumulado de eixos-padrão para a estrutura W1 - T4 - S4 do grupo “Botswana-Gaborone”	95
Figura 4.14 - Aplicabilidade do manual a estruturas do tipo W1, de classe de tráfego T4 e betume 60/70	96
Figura 4.15 - Aplicabilidade do manual a estruturas do tipo W1, de classe de tráfego T4 e betume 80/100	97
Figura 4.16 - Aplicabilidade do manual a estruturas do tipo W1, de classe de tráfego T5 e betume 40/50	98
Figura 4.17 - Aplicabilidade do manual a estruturas do tipo W1, de classe de tráfego T5 e betume 60/70	99

Figura 4.18 - Número acumulado de eixos-padrão para a estrutura W1 - T5 - S4 do grupo "Moçambique - Tete" e "Tanzânia - Lindi"	99
Figura 4.19 - Aplicabilidade do manual a estruturas do tipo W1, de classe de tráfego T5 e betume 80/100	100
Figura 4.20 - Aplicabilidade do manual a estruturas do tipo W1, de classe de tráfego T6 e betume 40/50	101
Figura 4.21 - Aplicabilidade do manual a estruturas do tipo W1, de classe de tráfego T6 e betume 60/70	102
Figura 4.22 - Aplicabilidade do manual a estruturas do tipo W1, de classe de tráfego T6 e betume 80/100	103
Figura 4.23 - Número acumulado de eixos-padrão para a estrutura W1 – T6 - S4 das localizações "África do Sul- Cape Town" e "Tanzânia - Mbeya"	103
Figura 4.24 - Número acumulado de eixos-padrão para a estrutura W1 – T6 - S4 das localizações "Moçambique - Tete" e "Tanzânia - Lindi"	104
Figura 4.25 - Aplicabilidade do manual a estruturas do tipo W1, de classe de tráfego T7 e betume 40/50	105
Figura 4.26 - Aplicabilidade do manual a estruturas do tipo W1, de classe de tráfego T7 e betume 60/70	106
Figura 4.27 - Número acumulado de eixos-padrão para a estrutura W1 - T7 - S4 do grupo "Moçambique- Tete"	106
Figura 4.28 - Aplicabilidade do manual a estruturas do tipo W1, de classe de tráfego T7 e betume 80/100	107
Figura 4.29 - Aplicabilidade do manual a estruturas do tipo W1, de classe de tráfego T8 e betume 40/50	108
Figura 4.30 - Número acumulado de eixos-padrão para a estrutura W1 - T8 - S4 do grupo "Moçambique- Tete"	108
Figura 4.31 - Aplicabilidade do manual a estruturas do tipo W1, de classe de tráfego T8 e betume 70/80	109
Figura 4.32 - Aplicabilidade do manual a estruturas do tipo W1, de classe de tráfego T8 e betume 80/100	110
Figura 4.33 - Número acumulado de eixos-padrão para a estrutura W1 – T8 - S4 das localizações "Moçambique - Tete" e "África do Sul – Cape Town"	110
Figura 4.34 - Número acumulado de eixos-padrão para a estrutura D1 - T6 - S4 das localizações: Namibe (Angola) e Mariental (Namíbia)	111
Figura 4.35 - Número acumulado de eixos-padrão para a estrutura D1 – T7 - S4 das localizações: Namibe (Angola) e Mariental (Namíbia)	112
Figura 4.36 - Número acumulado de eixos-padrão para a estrutura D1 – T8 - S4 das localizações: Namibe (Angola) e Mariental (Namíbia)	112

Figura 4.37 - Número acumulado de eixos-padrão de uma estrutura W1 e classe de tráfego T5 para uma velocidade de 20 km/h.....	116
Figura 4.38 - Número acumulado de eixos-padrão de uma estrutura W1 e classe de tráfego T5 para uma velocidade de 50 km/h.....	117
Figura 4.39 - Variação da capacidade de carga em função do tipo de estrutura de pavimento	117

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1.1 - Manuais de dimensionamento em estudo e respetivos países	3
Quadro 2.1 - Seleção do período de dimensionamento de pavimentos (adaptado de [7])	8
Quadro 2.2 - Classes de tráfego [1]	9
Quadro 2.3 - Classes de fundação [1]	9
Quadro 2.4 - Regionalização de acordo com a precipitação média anual [1]	10
Quadro 2.5 - Reclassificação de condições climáticas para regiões predominantemente húmidas (adaptado de [1])	10
Quadro 2.6 - Tipologias de estruturas previstas no catálogo de estruturas (adaptado de [1])	12
Quadro 2.7 - Catálogo de pavimentos para a região D1, segundo o manual da SATCC (adaptado de [1])	13
Quadro 2.8 - Classes de tráfego [2]	16
Quadro 2.9 - Classes de fundação [2]	16
Quadro 2.10 - Tipos de materiais considerados pelo manual do CEBTP [2] para as várias camadas do pavimento	18
Quadro 2.11 - Catálogo de estruturas do manual da CEBTP para as classes T3 e T4 (adaptado de [2])	20
Quadro 2.12 - Parâmetros necessários ao pré-dimensionamento da estrutura de pavimento	21
Quadro 2.13 - Classes de Tráfego segundo cada um dos manuais africanos	22
Quadro 2.14 - Classes de fundação segundo cada um dos manuais sul-africanos	23
Quadro 2.15 - Resumo de dados necessário ao pré-dimensionamento da estrutura do pavimento ...	24
Quadro 3.1 - Manuais de dimensionamento da América do Sul	25
Quadro 3.2 - Período de dimensionamento para cada categoria da via (adaptado de [3])	26
Quadro 3.3 - Classes de tráfego [3]	27
Quadro 3.4 - Fator de agressividade para cada tipo de eixo, Fi	29
Quadro 3.5 - Regiões climáticas segundo a temperatura e precipitação [3]	30
Quadro 3.6 - Classes de fundação [3]	30
Quadro 3.7 - Identificação e especificação dos materiais (adaptado de [3])	31
Quadro 3.8 - Catálogo de estruturas de pavimento do manual colombiano para região R2 e solo de fundação S4 e S5 (adaptado de [3])	33
Quadro 3.9 - Classes de Tráfego [4]	35
Quadro 3.10 - Classificação da região em função da classificação global [4]	36

Quadro 3.11 - Classificação particular (Cp) segundo as condições locais [4]	37
Quadro 3.12 - Aptidão dos solos e rochas [4]	38
Quadro 3.13 - Fatores de influência, Fi [4]	38
Quadro 3.14 - Módulos mínimos de deformabilidade dos materiais de bases, sub-bases e fundação [4]	39
Quadro 3.15 - Exemplo de catálogo de estruturas do manual mexicano para estradas normais (adaptado de [4])	41
Quadro 3.16 - Classes de Tráfego para estradas pavimentadas [5]	43
Quadro 3.17 - Classes de Tráfego para estradas não pavimentadas [5]	43
Quadro 3.18 - Fator de agressividade, Fi, para cada tipo de eixo (adotado de [5])	44
Quadro 3.19 - Classes de fundação [5]	45
Quadro 3.20 - Materiais a aplicar nas diferentes camadas de pavimento (adaptado de [5])	46
Quadro 3.21 - Catálogo de estruturas do manual peruano para pavimentos flexíveis e para classes de tráfego T1 a T7 (adaptado de [5])	47
Quadro 3.22 - Fator de agressividade em eixos tandem para eixo padrão de 8,2 t [6]	49
Quadro 3.23 - Espessura mínima de revestimento betuminoso [6]	51
Quadro 3.24 - Coeficiente de equivalência estrutural [6]	52
Quadro 3.25 - Principais referências dos guias de dimensionamento para pavimentos flexíveis	53
Quadro 3.26 - Classes de tráfego nos manuais de pré-dimensionamento de pavimentos da América do Sul	54
Quadro 3.27 - Classes de fundação segundo cada um dos manuais sul-americanos	55
Quadro 3.28 - Modos de avaliação das condições climáticas	56
Quadro 3.29 - Resumo de dados necessário ao pré-dimensionamento da estrutura do pavimento - tráfego	57
Quadro 3.30 - Resumo de dados necessário ao pré-dimensionamento da estrutura do pavimento - fundação	58
Quadro 3.31 - Resumo de dados necessário ao pré-dimensionamento da estrutura do pavimento - condições climáticas	58
 Quadro 4.1 - Tipo de região climática para as várias localizações em estudo [23]	 64
Quadro 4.2 - Temperatura anual ponderada das várias localidades em estudo	66
Quadro 4.3 - Temperatura de serviço para as várias localizações e espessuras de camada betuminosa	68
Quadro 4.4 - Módulos de rigidez do betume para uma camada betuminosa de 50 mm de espessura	72
Quadro 4.5 - Módulos de rigidez do betume para uma camada betuminosa de 100 e 125 mm de espessura	73

Quadro 4.6 - Módulos de rigidez do betume para uma camada betuminosa de 150 mm de espessura	74
Quadro 4.7 - Módulos de deformabilidade para uma camada betuminosa de 50 mm (Shell)	77
Quadro 4.8 - Módulos de deformabilidade para uma camada betuminosa de 100 e 125 mm (Shell) .	78
Quadro 4.9 - Módulos de deformabilidade para uma camada betuminosa de 150 mm (Shell)	79
Quadro 4.10 - Módulos de deformabilidade para uma camada betuminosa de 50 mm (Nottingham) .	81
Quadro 4.11 - Módulos de deformabilidade para uma camada betuminosa de 100 e 125 mm (Nottingham).....	82
Quadro 4.12 - Módulos de deformabilidade para uma camada betuminosa de 150 mm (Nottingham)	83
Quadro 4.13 - Módulos de deformabilidade para as camadas granulares de base e sub-base, para a estrutura D1	85
Quadro 4.14 - Módulos de deformabilidade para as camadas granulares de base e sub-base, para a estrutura W1	86
Quadro 4.15 - Indicação dos grupos de localizações com as mesmas características	91
Quadro 4.16 - Caso de aplicação dos critérios de ruína de acordo com os dados recolhidos do BISAR	92
Quadro 4.17 - Caso de aplicação dos critérios de ruína para a localidade de Mbeya (Tanzânia)	95
Quadro 4.18 - Determinação do número acumulado de eixos-padrão de uma estrutura D1 com revestimento betuminoso a frio para classe de tráfego T1	113
Quadro 4.19 - Determinação do número acumulado de eixos-padrão de uma estrutura D1 com revestimento betuminoso a frio para classe de tráfego T4	113
Quadro 4.20 - Determinação do número acumulado de eixos-padrão para as estruturas W1 - T1 e T2	114
Quadro 4.21 - Determinação do número acumulado de eixos-padrão para as estruturas D1 - T1 a T5	115

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

α – expoente de dano relativo

C_d – coeficiente de dano em função do tipo de veículo

C_i – número de veículos pesados diário do tipo i que circula na estrada no ano em que se efetua as contagens e estudo do pavimento

C_g – classificação global

C_i – classificação por influência

C_p – classificação particular

D – diâmetro do elemento constituinte da camada de maior dimensão

D_i – região seca (*Dry*)

e – espessura mínima

E – módulo de deformabilidade

$EE_{\text{dia-via}}$ – número de eixos equivalentes por cada tipo de veículo pesado, por dia, para a via de projeto

F_{ca} – fator de distribuição por via

F_d – fator de distribuição direcional

F_E – fator de eixos

F_i – fator de influência

F_{p_i} – fator de pressão dos pneumáticos

F_V – fator de veículo

i – taxa média de crescimento anual

k – parâmetro que converte eixos tandem e tridem em eixos simples

n – vida útil de projeto

N_8 (N_{80}) – número de eixos-padrão equivalentes a 8 toneladas

N_{13} (N_{130}) – número de eixos-padrão equivalentes a 13 toneladas

N_a – número de eixos equivalentes de 8,2 t no ano de entrada em serviço, oriundo de outras estradas

N_c – número de eixos padrão equivalentes de 8,2 t já suportados pelo pavimento durante a construção do pavimento

N_g – número de eixos equivalentes de 8,2 t no ano de entrada em serviço, gerados pela melhoria de estrada

N_i – número de eixos equivalentes de 8,2 t no ano que se realizaram as medições de tráfego, corrigido pelo tempo decorrido entre este e o ano de início de serviço

N_o – número de eixos padrão equivalentes de 8,2 toneladas que circulam na via de projeto, no ano inicial de serviço

P – peso de um eixo simples

R_i – regionalização

S_i – classe de fundação

$T_{\text{acumulado}}$ – tráfego total acumulado de projeto

TD – tráfego de projeto para as diferentes categorias de veículos

T_i – classe de tráfego

W_i – região húmida (*Wet*)

V_{pesados_i} - percentagem de veículos pesados obtidos no ano i da série histórica

SIGLAS

SATCC - *Southern Africa Transport and Communications Commission*

CEBTP - *Centre Expérimental de Recherches et d'Études du Bâtiment et des Travaux Publics*

INVIAS - Instituto Nacional de Vias da Colômbia

SCT - Secretaria de Comunicações e Transportes da República Mexicana

DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

AASHTO - *American Association of State Highway and Transportation Officials*

UNAM - Universidade Nacional Autónoma do México

ASTM - *American Society for Testing and Materials*

CBR - *California Bearing Ratio*

TMDA – Tráfego Médio Diário Anual

TDMS – Tráfego Diário Médio Semanal

TMAP – Temperatura Média Anual Ponderada

BG – Base Granular

SBG – Sub-base Granular

BEE – Base Estabilizada com Emulsão betuminosa

BEC – Base Estabilizada com Cimento

MDF – Mistura Densa a Frio

MDC – Mistura Densa a Quente

CA – Camada betuminosa

BH – Base Hidráulica

CH – Betão hidráulico

SB – Sub-base

BEA – Base Estabilizada com Betume

BEC – Base Estabilizada com cimento hidráulico

BMC – Base modificada com cimento hidráulico

SR – Fundação

1

INTRODUÇÃO

1.1 ÂMBITO DE APLICAÇÃO

No âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, opção de Vias de Comunicação, surgiu a necessidade de se estudar e compreender melhor os manuais de dimensionamento de estruturas de pavimentos rodoviários dos países de África e América Latina, com interesse para as empresas portuguesas do sector. Este é um tema com atual interesse para as empresas portuguesas do setor rodoviário, pois a necessidade de internacionalização das mesmas impõe a procura e o conhecimento dos manuais e dos métodos de dimensionamento de estruturas de pavimentos em países de mercados emergentes de África e da América Latina.

O comportamento do pavimento depende da sua estrutura geométrica e das características mecânicas dos materiais de pavimentação, ou seja, depende do número, da espessura e das características dos materiais constituintes, assim como das características da fundação que o suporta. As características dos materiais devem garantir, ao longo da vida útil do pavimento a estabilidade e a integridade da estrutura de forma a minimizar a necessidade de intervenções de conservação no futuro.

Existem três tipos de pavimentos: rígido, semirrígido e flexível, sendo este último o mais utilizado a nível mundial e por isso será este o que se abordará neste trabalho.

Os pavimentos flexíveis distinguem-se pela sua elevada deformabilidade e constituição material:

- misturas betuminosas nas camadas superiores, ou seja, materiais estabilizados com ligantes hidrocarbonados, geralmente betume asfáltico;
- materiais granulares em uma ou duas camadas.

As camadas betuminosas compreendem:

- camada de desgaste, camada diretamente em contacto com os rodados dos veículos, recebe as cargas por eles induzidas, distribuindo-as pelas camadas subjacentes;
- camada de regularização, camada responsável pelo nivelamento da espessura do pavimento, recebe e degrada as cargas provenientes da camada de desgaste;
- camada de base, camada responsável, essencialmente, por degradar os esforços induzidos pelo tráfego para as camadas subjacentes de sub-base e para a fundação.

Um pavimento flexível é fortemente influenciado pela intensidade do tráfego de veículos pesados, pelas características dos materiais das várias camadas e do solo de fundação. Dependendo do nível de tráfego as estruturas de pavimentos deverão apresentar maior ou menor espessura das diferentes camadas ou melhor ou menor qualidade dos materiais constituintes, a fim de conciliar a qualidade e durabilidade a uma maior economia na execução de estruturas de pavimentos.

Para a definição preliminar, em pré-dimensionamento das espessuras e das características das camadas constituintes do pavimento, existem manuais de pré-dimensionamento.

No sentido de simplificar o processo de dimensionamento de pavimentos em África e na América Latina vários países adotam guias de dimensionamento, que serão abordados no presente trabalho.

1.2 OBJETIVOS

No presente trabalho, são descritos os principais manuais de dimensionamento de estruturas de pavimentos utilizados em países de África e da América Latina, a fim de, dar conhecimento do seu conteúdo e sintetizar as suas metodologias de cálculo. Estes manuais têm como função apoiar e orientar a conceção de estruturas de pavimentos e respetivas fundações a adotar na construção de novas infraestruturas rodoviárias.

No Quadro 1.1 são indicados os manuais de dimensionamento abordados no presente trabalho, referindo-se os países, que os utilizam.

Os objetivos gerais desta dissertação são:

- identificar manuais de dimensionamento de pavimentos de países de África e da América Latina;
- identificar os catálogos de estruturas de pavimentos de cada manual;
- fazer análise comparativa entre os manuais identificados;
- verificar a aplicabilidade de um dos manuais, o sul-africano, a distintos países do sul de África;

Quadro 1.1 - Manuais de dimensionamento em estudo e respetivos países

Continente	Manual de dimensionamento	Países
África	SATCC – <i>Code of Practice for the Design of Road Pavements</i> , 2001 [1]	África do Sul, Namíbia, Botswana, Angola, Zâmbia, Zimbabué, Moçambique, Malawi, Tanzânia
	CEBTP - <i>Guide Pratique de Dimensionnement des Chaussées pour les Pays Tropicaux</i> , 1984 [2]	Costa de Marfim, Camarões, República Democrática do Congo, República Centro Africana, Senegal, Gabão
América Latina	INVIAS - <i>Manual de diseño de pavimentos com médios y altos volúmenes de transito</i> , 1998 [3]	Colômbia
	SCT - <i>Catálogo de Secciones Estructurales de Pavimentos para las Carreteras de La República Mexicana</i> , 2011 [4]	México
	MANUAL DE CARRETERAS - “ <i>Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos</i> ”, seção: “ <i>Suelos y Pavimentos</i> ”, 2013 [5]	Perú
	DNER - <i>Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis</i> , 1981 [6]	Brasil

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Esta tese está organizada em cinco capítulos, incluindo este capítulo de “Introdução,” onde se enquadra o tema em estudo, se evidencia a relevância do âmbito em que se insere, se explicita os objetivos que se pretende atingir e se mostra a organização do trabalho a desenvolver.

Nos capítulos 2 e 3 são identificados e analisados os manuais de pré-dimensionamento de estruturas de pavimentos para os países de África e da América Latina, respetivamente. No final de cada um destes capítulos é feita uma análise comparativa entre os vários manuais identificados.

No capítulo 4 apresenta-se uma análise mais aprofundada do manual sul-africano da SATCC [1], a fim de verificar a aplicabilidade deste manual a todos os países que adotam este guia de dimensionamento, tais como Angola, Malawi e Moçambique.

No capítulo 5, referem-se as principais conclusões do trabalho realizado, assim como algumas sugestões para eventuais trabalhos futuros.

2

MANUAIS DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS EM ÁFRICA

2.1 INTRODUÇÃO

Devido, ao elevado crescimento económico de alguns países africanos, o mercado africano apresenta cada vez mais potencial interesse para empresas portuguesas com experiência no setor rodoviário. É portanto de extrema importância que estas tenham o conhecimento dos manuais que permitam dimensionar os pavimentos de acordo com as características de cada país. No entanto, ao contrário do que acontece na Europa, em que muitos países têm um manual próprio adaptado às suas condições (tipo de tráfego, tipo de solos e condições climáticas), a maioria dos países africanos faz-se recorrer de manuais de outros países com maior experiência.

Neste capítulo, serão apresentados e descritos os principais manuais de dimensionamento de pavimentos utilizados em África que têm como principal objetivo o pré-dimensionamento de pavimentos flexíveis, ou seja a identificação de estruturas de pavimento base a adotar na fase de estudo prévio. São eles, o “*Code of Practice for the Design of Road Pavements*” da SATCC [1] e o “*Guide Pratique de Dimensionnement des Chaussées pour les Pays Tropicaux*”, da CEBTP [2].

Em ambos os documentos, as estruturas de pavimento base propostas apresentam-se em forma de catálogo, sendo necessários definir parâmetros de entrada para a seleção da estrutura final do estudo prévio.

Este capítulo inicia-se com a identificação e a análise das várias ações de dimensionamento de cada um dos manuais africanos identificados. O tráfego, as condições de fundação e as condições climáticas são os parâmetros que mais condicionam a estrutura de um pavimento flexível, e portanto são os principais parâmetros de entrada dos catálogos apresentados por cada um destes manuais.

De seguida, apresentam-se os tipos de materiais que irão constituir as camadas dos pavimentos propostos pelos manuais. Estes materiais dependem de várias condicionantes, entre elas, o local de construção, os materiais existentes na zona, a importância da estrada e as condições hídricas.

Segue-se, neste capítulo, a descrição dos critérios de ruína que determinam o dimensionamento das estruturas de pavimento apresentadas pelo manual SATCC [1] e CEBTP [2].

Depois, são apresentados exemplo de estruturas de cada um dos manuais, que permitem determinar uma estrutura de pavimento adequada aos parâmetros de entrada definidos para cada um dos manuais.

No final deste capítulo, é apresentada uma análise comparativa entre os manuais africanos SATCC [1] e CEBTP [2].

2.2. MANUAL SATCC

O manual “*Code of Practice for the Design of Road Pavements*” [1], criado pela *Southern Africa Transport and Communications Commission* (SATCC), é uma referência em África, daí que apesar da sua origem sul-africana, a sua aplicação tem sido generalizada em diversos países, como indicado na Figura 2.1.

É função deste guia fornecer um método simples e de fácil aplicação na determinação de uma estrutura de pavimento adequada para os critérios de projeto esperados. O manual é baseado no uso de um catálogo de estruturas de fácil compreensão que permite ao engenheiro rapidamente selecionar a configuração estrutural que responderá aos critérios de projeto.

É de mencionar que, este manual apresenta, no entanto, certas limitações que se passam a referir:

- não é aplicável a pavimentos rígidos ou estradas não pavimentadas;
- não tem considerações especiais para pavimentos urbanos;
- não se aplica a tráfego acumulado de projeto superior a trinta milhões de eixos-padrão equivalentes;
- não incorpora condições de fundação no caso de materiais com valor de CBR (*California Bearing Ratio*) inferior a dois por cento.

Note-se que a aplicação deste manual a outros países africanos que não África do Sul, pode não fornecer estruturas de pavimentos adequadas, e portanto, é importante referir que estudos detalhados são necessários, principalmente devido ao largo espetro de temperaturas e condições de pluviosidade dos países envolvidos.



Figura 2.1 - Países que adotam o manual SATCC [1]

Em termos de parâmetros de entrada, o presente manual considera o tráfego, as condições de fundação e as condições climáticas, parâmetros que se descrevem de seguida com detalhe.

2.2.1. TRÁFEGO

O dimensionamento de pavimentos rodoviários é fortemente influenciado pelo tráfego, sendo esta, a principal ação a solicitar o pavimento através da consideração do período de dimensionamento, do tráfego acumulado, do fator de agressividade e da classe de tráfego.

2.2.1.1. Período de dimensionamento

O período espetável para que a estrada mantenha um nível de serviço satisfatório sem necessitar de ser reabilitado ou reparado vai depender da importância/nível de serviço que se pretenda para o mesmo. Geralmente, o período de dimensionamento deverá estar compreendido entre 10 ou 25 anos. No Quadro 2.1 indica-se, segundo o manual da especialidade *Structural Design of Flexible Pavements for Interurban and Rural Roads* [7] como definir o período de dimensionamento em função da categoria, da importância e do nível de serviço em causa.

Quadro 2.1 - Seleção do período de dimensionamento de pavimentos (adaptado de [7])

	Categoria da via			
	A	B	C	D
Descrição	Autoestradas e itinerários principais	Vias coletoras, estradas rurais	Estradas rurais com tráfego médio, caminhos estratégicos	Estradas de acesso rural
Importância	Muito importante	Importante	Pouco importante	Pouco importante
Nível de serviço	Muito elevado	Elevado	Moderado	Moderado a baixo
Período de dimensionamento recomendado (anos)	25	20	15	10

2.2.1.2. Classe de tráfego

A metodologia apresentada pelo manual da SATCC [1] para determinar o número de eixos-padrão exige a divisão do tráfego por categoria de veículos. Para cada categoria (em termos de peso por eixo simples), o tráfego total ao longo da vida útil de projeto é calculado pela expressão matemática (1), que tem por base a consideração de um crescimento exponencial de tráfego.

$$T_{\text{acumulado}} = TMDA_{\text{atual}} \times 365 \times \frac{(1+i)^n - 1}{i} \quad (1)$$

em que:

$T_{\text{acumulado}}$ é o tráfego total acumulado de projeto para cada categoria de veículos por sentido;

$TMDA_{\text{atual}}$, o tráfego médio diário anual para cada categoria de veículos por sentido;

i , a taxa média de crescimento anual;

n , a vida útil de projeto, em anos.

O tráfego total acumulado de cada categoria é posteriormente convertido no número de eixos padrão equivalente a 80 kN (8 t). Para tal, é necessário multiplicar o número de veículos por um fator de equivalência ou fator de agressividade, F , que se define pela expressão (2):

$$F = \left(\frac{P}{8,0} \right)^\alpha \quad (2)$$

em que:

P é o peso de um eixo simples, em toneladas;

α , o expoente de dano relativo, que geralmente toma o valor de 4 em pavimentos flexíveis.

Somando o número acumulado de eixos-padrão, de todas as categorias de veículos, conhece-se o número total de eixos padrão de todo o espectro de tráfego que irá solicitar o pavimento durante toda a

sua vida útil. Tendo em conta os valores obtidos define-se a classe de tráfego de acordo com o Quadro 2.2. Neste Quadro, o número acumulado de eixos-padrão de 8 toneladas (80 kN), é representado simplificada por N_8 (N_{80}).

Quadro 2.2 - Classes de tráfego [1]								
	Classes de tráfego							
	T1	T 2	T 3	T 4	T 5	T 6	T7	T8
N_8 (milhões de eixos padrão)	<0,3	0,3 – 0,7	0,7 – 1,5	1,5 – 3	3 – 6	6 – 10	10 – 17	17 - 30

2.2.2. CLASSE DE FUNDAÇÃO

Segundo o manual da SATCC [1], a fundação é classificada de acordo com o valor de CBR do respetivo solo, como se indica no Quadro 2.3.

Quadro 2.3 - Classes de fundação [1]						
	Classe de fundação					
	S1	S2	S3	S4	S5	S6
CBR da Fundação [%]	2	3 – 4	5 – 7	8 – 14	15 – 29	> 30

O valor de CBR deverá ser determinado dependendo do teor de humidade espetável durante a vida útil do pavimento, seguindo o disposto no manual da SATCC [1].

2.2.3. CONDIÇÕES CLIMATÉRICAS

O manual sul-africano distingue estruturas de pavimento específicas para regiões húmidas e secas, que são definidas em função da precipitação média anual (Quadro 2.4)

Quadro 2.4 - Regionalização de acordo com a precipitação média anual [1]

Região climática	Precipitação média anual (mm)	Observações
Seca	<250	Não se consideram situações de humidade devido a inundações significativas, fontes subterrâneas ou poços.
Húmido	> 500	Consideram-se todas as situações que não se enquadrem no que foi anteriormente exposto

De acordo com o manual proposto pela SATCC [1], há, no entanto, outros fatores que podem condicionar a definição da estrutura de pavimento apropriada, como por exemplo, o nível de manutenção previsto e as condições de drenagem. No Quadro 2.5, é apresentado a reclassificação das regiões predominantemente húmidas em função da drenagem e nível de manutenção previstos para a vida útil do pavimento. Neste Quadro, as letras D e W referem-se respetivamente às regiões secas (*Dry*) e às regiões húmidas (*Wet*).

Quadro 2.5 - Reclassificação de condições climatéricas para regiões predominantemente húmidas (adaptado de [1])

Drenagem prevista	Nível de manutenção previsto	Níveis de tráfego	Reclassificação
Boa, bem planeada e bem executada	Bom, programado, com problemas resolvidos a tempo	Baixo ($\leq T2$)	D
		Alto ($\geq T3$)	D
	Manutenção deficiente	Baixo ($\leq T2$)	D
		Alto ($\geq T3$)	W
Drenagem deficiente	Bom, programado, com problemas resolvidos a tempo	Baixo ($\leq T2$)	D
		Alto ($\geq T3$)	W
	Manutenção deficiente	Baixo ($\leq T2$)	W
		Alto ($\geq T3$)	W

Significa isto que, a estrutura de pavimento de uma região climática húmida (estrutura do tipo W) poderá passar a ser a mesma que uma estrutura de pavimento de uma região climática seca (estrutura do tipo D) dependendo da qualidade da drenagem e o nível de manutenção previsto.

2.2.4.MATERIAIS DE PAVIMENTAÇÃO

Para consulta do catálogo de estruturas é ainda necessário definir o tipo de materiais que irão constituir as camadas de pavimento. Esta escolha é condicionada pela disponibilidade e/ou adequabilidade dos materiais. De acordo com o manual da SATCC [1], o tipo de materiais a aplicar depende também da classe de tráfego de projeto. No Quadro 2.6, apresenta-se uma descrição sumária dos materiais para as camadas de base e de sub-base em função do tipo de estruturas de pavimento em zonas secas (D1 a D5) e em zonas húmidas (W1 a W5).

Refira-se que o material para a camada de desgaste está fixo, em cada estrutura de pavimento indicada no catálogo, podendo ser misturas betuminosas ou revestimentos superficiais.

A informação fornecida no manual da SATCC deve ser vista como um guia geral para o dimensionamento de estruturas de pavimento, que providencia a base para a consideração do uso dos materiais, podendo não apresentar todos os detalhes necessários. Para uma especificação mais detalhada dos materiais usados nas várias camadas de pavimento é necessário a consulta do documento “*Standard Specifications for Road and Bridge Works*”[8].

2.2.5.CRITÉRIOS DE RUÍNA

O manual da SATCC não indica os critérios de ruína utilizados na definição das estruturas de pavimento. No entanto, refere que os critérios de ruína utilizados para definir as estruturas de pavimento do manual SATCC são os que constam no documento “*The Mechanistic Design Method used to evaluate the Pavement Structures in the Catalogue of the Draft TRH4*” [9]: o critério de fadiga das camadas betuminosas, que pretende controlar as extensões horizontais de tração na zona mais tracionada das camadas betuminosas; o critério de deformação permanente que controla a extensão vertical máxima de compressão no topo do solo de fundação.

2.2.6.ESTRUTURAS DE PAVIMENTO INDICADOS PELO MANUAL DA SATCC

Após a identificação dos fatores de entrada considerados (tráfego, classes de fundação, condições climáticas e materiais de pavimentação) é possível, finalmente, identificar, nos catálogos apresentados pelo manual SATCC, a(s) estrutura(s) de pavimento propostas para pré-dimensionamento.

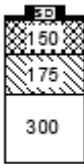
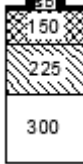






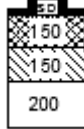
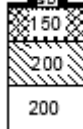





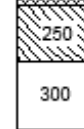
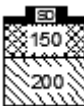
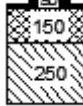



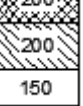

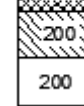
























O Quadro 2.7 mostra, a título exemplificativo, o catálogo final apresentado pelo manual da SATCC [1], para a região D1 e no caso de considerar camadas de base e sub-base granulares.

Quadro 2.6 - Tipologias de estruturas previstas no catálogo de estruturas (adaptado de [1])

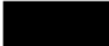
Designação do Catálogo	Estrutura das camadas do pavimento	Comentários
D1 & W1	Base granular e sub-base granular	Base e sub-base: Materiais granulares naturais ou britados. Pode considerar-se um macadame se apropriado e se o custo/qualidade não for um problema.
D2 & W2	Base granular e sub-base tratada	Base: Materiais granulares naturais ou britados. Sub-base: Materiais que podem incluir tratamento com cal (para classes de tráfego até T2) ou com emulsão betuminosa (para classe de tráfego até T4).
D3 & W3	Base tratada e sub-base tratada	Base: Normalmente base tratada com cimento; no entanto, é permitida, na classe T3, considerar-se base tratada com emulsão betuminosa. Sub-base: Pode incluir tratamento com cal (para classes de tráfego até T2) ou com emulsão betuminosa (para classe de tráfego até T4).
D4 & W4	Base betuminosa e sub-base granular	Base: Misturas betuminosas a quente fabricadas em central. Sub-base: Materiais granular naturais ou britados.
D5 & W5	Base betuminosa e sub-base tratada	Base: Misturas betuminosas a quente fabricadas em central. Sub-base: Pode incluir tratamento com cal (para classes de tráfego até T2) ou com emulsão betuminosa (para classe de tráfego até T4).

Nota: Refere-se que materiais naturais tratados com emulsão betuminosa, com valores de betume residual até 1,5%, incluindo 1,0% de cimento Portland, têm provado na África do Sul ter um desempenho satisfatório para níveis de tráfego significativamente superiores [10].


Quadro 2.7 – Catálogo de pavimentos para a região D1, segundo o manual da SATCC (adaptado de [1])

Catálogo D1	Base granular/sub-base granular						Regiões Secas	
	Classes de tráfego							
Classe de fundação	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
S1 2%								
S2 3 - 4%								
S3 5 - 7%								
S4 8 - 14%								
S5 15 - 29%								
S6 >30%								


Legenda:




Revestimento superficial ou mistura betuminosa a quente



Base granular (CBR > 80%)



Sub-base granular (CBR > 30%)



Camada selecionada (CBR > 15%)

Nota: 50mm de mistura betuminosa a quente podem ser reduzidos para 40mm onde a experiência local mostre ser adequada.

2.3. MANUAL DO CEBTP

O *Centre Expérimental de Recherches et d'Études du Bâtiment et des Travaux Publics*, doravante denominado CEBTP, realizou, em 1959, em nome do fundo de assistência e de cooperação francesa, um estudo geral sobre o comportamento e o reforço de 7000 km de estradas pavimentadas na África Tropical e em Madagascar, estudo que foi a base do manual “*Guide Pratique de Dimensionnement des Chaussées pour les Pays Tropicaux*”, de 1972 [2].

O manual atual detém os princípios básicos desse manual de 1972. É um manual de pré-dimensionamento de pavimentos rodoviários criado com a colaboração de vários engenheiros do CEBTP [2] a exercerem atividade em vários países tropicais africanos. Apresenta tabelas de diferentes estruturas e espessuras possíveis de implantar em obra, de acordo com o tráfego e o valor CBR da fundação dos pavimentos.

A utilização do manual do CEBTP [2] é feita em diversos países do continente africano como se indica na Figura 2.2, nas regiões tropicais do continente africano e Madagascar.

É objetivo deste manual fornecer soluções em que seja possível utilizar, dentro das melhores condições, os materiais locais, a fim de minimizar o custo da construção dos pavimentos, cumprindo os limites de segurança aceitáveis.



Figura 2.2 - Países que adotam o manual do CEBTP [2]

No manual do CEBTP [2], os parâmetros de entrada para obter as estruturas necessárias ao dimensionamento de pavimentos são o tráfego e as condições de fundação, que são detalhados de seguida.

2.3.1. TRÁFEGO

2.3.1.1. Período de dimensionamento

Segundo o manual do CEBTP é admitido, em caso geral, um período de vida útil de 15 anos.

2.3.1.2. Classes de tráfego

O manual CEBTP [2] permite que tráfego acumulado durante o período de dimensionamento seja calculado considerando-se crescimento exponencial de tráfego ou crescimento aritmético, conforme se indica, respetivamente, nas expressões matemáticas (3) e (4).

- Crescimento exponencial:

$$T_{\text{acumulado}} = 365 \times TMDA_{\text{atual}} \frac{(1+i)^n - 1}{i} \quad (3)$$

- Crescimento aritmético ou linear:

$$T_{\text{acumulado}} = 365 \times n \times TMDA_{\text{atual}} \left[\frac{2 + (n-1)i}{2} \right] \quad (4)$$

sendo:

$T_{\text{acumulado}}$, o tráfego total acumulado de projeto;

$TMDA_{\text{atual}}$, o tráfego médio diário anual para cada categoria de veículos por sentido;

n , a vida útil de projeto, em anos;

i , a taxa média de crescimento anual.

Este manual [2] permite considerar o eixo equivalente de 8,2 t ou de 13 t, consoante o caso em estudo. Por definição, a expressão que permite calcular, o fator de agressividade, transformando um eixo simples de P toneladas num eixo padrão é a (5):

$$F = \left(\frac{P}{P_{\text{ref}}} \right)^\alpha \quad (5)$$

sendo,

$\alpha = 4$, para pavimentos flexíveis;

$4 < \alpha < 8$, para pavimentos rígidos (sendo $\alpha = 8$, correspondente a pavimentos em betão);

$P_{\text{ref}} = 8,2$ t ou $P_{\text{ref}} = 13$ t, respetivamente para eixos padrão de 8,2 toneladas e 13 toneladas.

Calculado o número de veículos para o período de dimensionamento e multiplicando este, pelo fator de agressividade F é possível obter o número acumulado de eixos equivalentes.

No Quadro 2.8, são apresentadas as cinco classes de tráfego definidas pelo manual CEBTP [2] em função do número acumulado de passagens de eixo equivalentes para os dois tipos de eixos-padrão.

Quadro 2.8 - Classes de tráfego [2]

Eixos-padrão (milhões)	Classes de tráfego				
	T 1	T 2	T 3	T 4	T 5
N_{13}	<0,5	0,5 – 1,5	1,5 – 4	4 – 10	10 – 20
$N_{8,2}$	<3	3 – 10	10 – 25	25 – 60	60 – 100

2.3.2. CLASSE DE FUNDAÇÃO

Os diversos tipos de solos existentes nos países tropicais africanos são classificados pelo manual do CEBTP [2] em cinco classes de fundação, em função do CBR, como indicado no Quadro 2.9.

Quadro 2.9 - Classes de fundação [2]

	Classe de fundação				
	S1	S2	S3	S4	S5
CBR da Fundação [%]	<5	5 – 10	10 – 15	15 – 30	> 30

2.3.3. CONDIÇÕES CLIMÁTICAS

Refere-se que o manual do CEBTP [2] não considera diretamente as condições climáticas na definição da estrutura do pavimento, ou seja, as condições climáticas não são um parâmetro de entrada para o catálogo de estruturas apresentado por este manual.

É sabido que os resultados do ensaio CBR são influenciados pelas condições climáticas, e portanto pelos diferentes teores de humidade dos solos que variam de região para região. Desta forma, o manual do CEBTP distingue três regiões climáticas de forma a prever o teor de humidade ótimo esperado para cada uma destas regiões.

- *zona desértica com muito fraca pluviosidade* (precipitação <300 mm por ano)
Nesta zona, os solos raramente estão saturados e o teor de humidade natural é frequente inferior ao ótimo;
- *zona tropical* - com secas bem marcadas
O teor de humidade natural dos solos excede, ligeiramente, o teor de humidade ótimo, na estação das chuvas;
- *zona equatorial* (precipitação > 1,2 m por ano)
Os solos encontram-se saturados a maior parte do ano apresentando um teor de humidade muito superior ao ótimo.

2.3.4. MATERIAIS DE PAVIMENTAÇÃO

O manual do CEBTP [2] foi criado com o intuito de ser o guia de dimensionamento de pavimentos de vários países africanos, todos eles com características diferentes, e portanto, a abrangência deste manual faz com que seja necessário ter o conhecimento de uma grande variedade de materiais. Uns mais conhecidos e amplamente utilizados, outros mais particulares, apenas existentes em certas regiões. No Quadro 2.10, é apresentado o tipo de materiais considerados pelo CEBTP para as várias camadas do dimensionamento da estrutura de pavimentos.

Para um conhecimento mais aprofundado destes materiais deve consultar-se o manual [2].

Quadro 2.10 - Tipos de materiais considerados pelo manual do CEBTP [2] para as várias camadas do pavimento

Tipo de Camada	Material	Observações
Sub-base	Solos lateríticos	Solo de cor alaranjada, típico de zonas tropicais; pode ser melhorado com cimento ou cal
	Material britado (<i>Concassé</i>)	A dimensão máxima do agregado não excede os 40 mm.
	Material britado (<i>Graves naturelles</i>)	Material proveniente do leito dos rios, praias ou sopés de zonas montanhosas; a sua dimensão máxima não deve exceder os 60 mm
	Areia argilosa	Pode ser melhorada com cimento ou cal
	Escórias vulcânicas	Material proveniente de ações vulcânicas recentes que pode ser utilizado na camada de sub-base após tratamento
	<i>Coquilliers</i>	Material proveniente do depósito de conchas e crustáceos; podem ser encontrados junto à costa em praias recentes ou em locais onde já houve existência de praias
	<i>coralliens</i>	Materiais com presença de corais, dragados diretamente do mar ou fosseis
Base	Solos lateríticos	Não devem ser usados nas classes de tráfego T4 e T5
	Material britado	O material britado tratado com cimento ou cal pode utilizar-se para as classes de tráfego T1 e T2
		O material britado estabilizado com cimento é mais correto de utilizar para classes de tráfego T4 e T5 por razões económicas
	<i>Concassé o/d</i>	Pode ser usado para classes de tráfego de T1 a T4
	Areia argilosa	Tratada com cimento ou cal pode ser usado para classes de tráfego T1 e T2
	<i>Areia betume</i>	Apresenta um comportamento muito satisfatório para as classes de tráfego T1 a T3
Base	<i>Grave betume</i>	Material britado envolvido por betume
	<i>Grave ciment</i>	Material britado reforçado com cimento
Revestimento	Micro- revestimento (<i>sand asphalt</i>)	Revestimento recomendado para regiões ricas em areia e para apenas para classes de tráfego T1 e T2
	Misturas densas	Material muito utilizado nos países tropicais para classes de tráfego T1 a T3
	Betão betuminoso	Especialmente importantes para classes de tráfego T4 e T5.

É função de cada país, escolher o tipo de materiais a utilizar na estrutura do pavimento, dependendo dos recursos locais existentes, do tráfego e da classe de fundação.

2.3.5. CRITÉRIOS DE RUÍNA

As estruturas de pavimento do manual do CEBTP [2] são previstas de forma a:

- as tensões de compressão ao nível da fundação não causem a deformação da mesma - critério de deformação permanente;
- as deformações devido ao tráfego permaneçam admissíveis tendo em conta o comportamento de fadiga dos materiais betuminosos - critério de fadiga;

2.3.6. ESTRUTURAS DE PAVIMENTO INDICADOS PELO MANUAL DO CEBTP

Para que as estruturas propostas por este manual tenham um comportamento satisfatório é necessário que:

- os materiais constituintes das diversas camadas possuam características capazes de responder a exigências mínimas de qualidade;
- as condições de execução dos pavimentos sejam conforme o estipulado.

As espessuras das camadas propostas no catálogo de estruturas são compatíveis com as tecnologias implementadas pelos equipamentos mais modernos; em particular, a espessura mínima (e_{\min}) das camadas realizadas com materiais que tenham elementos de maior dimensão, para não haver esmagamento devido à compactagem deverá ser:

$$e_{\min} \geq 2,5 d_{\max} \quad (6)$$

em que d_{\max} , é o diâmetro do elemento constituinte da camada de maior dimensão.

Como referido anteriormente, as estruturas de pavimento propostas pelo manual do CEBTP [2] são adotadas em função dos recursos materiais locais, do tráfego e das condições de fundação. No Quadro 2.11, encontra-se um catálogo adaptado deste manual, para as classes de tráfego T3 e T4.

Este guia propõe várias recomendações que devem ser adaptadas às condições particulares de cada país. Países como a Costa de Marfim já possuem catálogo próprio, adaptado do manual do CEBTP [2], com estruturas adaptadas às condições do país e materiais específicos desse país.

Quadro 2.11 - Catálogo de estruturas do manual da CEBTP para as classes T3 e T4 (adaptado de [2])

Classes de Fundação		S1		S2		S3		S4		S5	
Classes de Tráfego		T3	T4	T3	T4	T3	T4	T3	T4	T3	T4
R	Betão Betuminoso [cm]	5	-	5	-	5	-	5	-	5	-
B	Areia argilosa melhorada com cimento [cm]	20	-	20	-	20	-	20	-	20	-
SB	Areia argilosa melhorada com cimento ou material britado melhorado com cimento [cm]	40	-	25	-	20	-	15	-	-	-
R	Betão Betuminoso [cm]	-	-	5	7	5	7	5	7	5	7
B	Grave ciment [cm]	-	-	20	20	20	20	20	20	20	20
SB	Solo laterítico ou <i>concassé o/d</i> [cm]	-	-	30	35	25	30	20	20	-	-
R	Betão Betuminoso [cm]	5	7	5	7	5	7	5	7	5	7
B	Grave ciment [cm]	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
SB	Areia argilosa melhorada com cimento ou material britado melhorado com cimento [cm]	40	45	25	30	20	25	15	25	-	-
R	Betão Betuminoso [cm]	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5
B	Grave betume [cm]	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
SB	Graveleux naturel ou <i>concassé o/d</i> [cm]	45	50	30	35	25	25	15	20	-	-
R	Betão Betuminoso [cm]	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5
B	Grave betume [cm]	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
SB	Areia argilosa melhorada com cimento ou material britado melhorado com cimento ou areia melhorado com betume [cm]	40	45	25	30	20	25	15	15	-	-

Legenda:

T3 – T4: classes de tráfego

S1 – S5: classes de fundação

R= Revestimento betuminoso B= Camada de base; SB= Camada de sub-base;

2.4. ANÁLISE COMPARATIVA DOS MANUAIS AFRICANOS

Os guias de pré-dimensionamento abordados neste trabalho para o continente africano são bastante diferentes na forma como se apresentam, porém, ambos adotam uma metodologia de dimensionamento de pavimentos semelhante sob a forma de catálogo.

Para a obtenção destes catálogos são necessários determinar os parâmetros de entrada, que diferem nos dois manuais, no entanto, tanto a classe de tráfego como a classe de fundação são consideradas, como se pode observar pelo Quadro 2.12.

Quadro 2.12 - Parâmetros necessários ao pré-dimensionamento da estrutura de pavimento

Manuais	Parâmetros de Entrada			
	Tráfego	Condições de Fundação	Condições Climáticas	Materiais de Pavimentação
SATCC	X	X	X	X
CEBTP	X	X		X

É apresentado de seguida, uma análise comparativa entre o manual SATCC [1], que rege o dimensionamento de pavimentos na zona sul de África, e o manual CEBTP [2] com a mesma função para a zona tropical deste continente.

2.4.1. TRÁFEGO

Observando os manuais SATCC [1] e CEBTP [2] é facilmente observável que apesar das diferenças existentes, e apesar dos diferentes parâmetros necessários ao pré-dimensionamento dos pavimentos, ambos necessitam de dados relativos ao tráfego, sendo que este é o parâmetro mais importante e aquele que compromete mais a estrutura ao longo de toda a sua vida útil.

No Quadro 2.13, é possível reparar que ambos os manuais utilizam uma forma de classificar o tráfego em função de um eixo padrão equivalente, porém a solicitação considerada para cada eixo-padrão difere nos dois manuais.

O SATCC [1] considera a ação de um eixo padrão de 8 toneladas (ou 80 kN) enquanto o manual com origem francesa considera dois tipos de eixo-padrão, sendo eles o de 8,2 toneladas e o de 13 toneladas. Note-se também que no manual sul-africano, o tráfego é dividido em oito classes, enquanto que no outro manual apresenta apenas cinco, mas de gama mais alargada (até 100 milhões de passagens contra 30 milhões de passagens).

Observando o número de eixos padrão do manual do CEBTP [2], é possível observar que para a mesma classe de tráfego o intervalo destes valores é menor para o eixo padrão de 13 toneladas, sendo que, uma classe de tráfego T5 para um eixo padrão de 13 t irá corresponder a uma classe T3 para um eixo padrão de 8,2 t. Os mesmos valores corresponderiam a uma classe T7 no manual da SATCC [1].

O manual sul-africano é mais detalhado do que o manual da CEBTP [2], fazendo uma divisão num maior número de classes de tráfego, podendo evitar assim o sobredimensionamento da estrutura de pavimento, vantagem do ponto de vista económico.

Quadro 2.13 - Classes de Tráfego segundo cada um dos manuais africanos

SATCC [1]		CEBTP [2]		
Classes de tráfego	N ₈ (milhões de eixos padrão)	Classes de tráfego	N ₁₃ (milhões de eixos padrão)	N _{8,2} (milhões de eixos padrão)
T1	<0,3	T1	<0,5	<3
T2	0,3 – 0,7	T2	0,5 – 1,5	3 – 10
T3	0,7 – 1,5	T3	1,5 – 4	10 – 25
T4	1,5 – 3	T4	4 – 10	25 – 60
T5	3 – 6	T5	10 - 20	60 - 100
T6	6 – 10	-	-	-
T7	10 – 17	-	-	-
T8	17 – 30	-	-	-

2.4.2.CONDIÇÕES DE FUNDAÇÃO

Ambos os manuais SATCC [1] e o CEBTP [2] utilizam a fundação do pavimento no apoio à seleção da estrutura de pavimento. Os terrenos de fundação estão compreendidos em seis classes para o manual sul-africano e apenas em cinco classes para o manual CEBTP.

Ambos os manuais classificaram os terrenos de fundação tendo em conta os materiais usualmente encontrados e expressos em termos do valor de CBR para as condições mais desfavoráveis previsíveis em obra e após entrada em serviço.

No Quadro 2.14, compara-se as classes de fundação e respetivos valores de CBR para os dois manuais africanos em estudo.

É possível observar que, o manual sul-africano, apresenta à semelhança da classificação do tráfego, um maior número de classes de fundação, relativamente ao manual CEBTP [2], fazendo uma maior distinção para solos de fundação com valor de CBR inferior a 5%. A classe de fundação correspondente a S1 no manual do CEBTP [2] é dividida em duas classes no manual sul-africano.

Quadro 2.14 - Classes de fundação segundo cada um dos manuais sul-africanos

SATCC [1]		CEBTP [2]	
Classes de Fundação	CBR da Fundação [%]	Classes de Fundação	CBR da Fundação [%]
S1	2	S1	<5
S2	3 – 4	S2	5 – 10
S3	5 – 7	S3	10 – 15
S4	8 – 14	S4	15 – 30
S5	15 – 29	S5	>30
S6	>30	-	-

2.4.3.CONDIÇÕES CLIMÁTICAS

Apenas o manual SATCC [1] exige o conhecimento de informações climáticas para a escolha da estrutura do pavimento, assim como do nível de manutenção e drenagem prevista do pavimento. O manual do CEBTP [2] apresenta também alguma abordagem às condições climáticas porém não constitui um parâmetro de entrada na definição da estrutura de pavimento presente do catálogo.

2.4.4.MATERIAIS DE PAVIMENTAÇÃO

Como é sabido, a escolha dos materiais de pavimentação tem um papel fundamental no bom desempenho da estrutura ao longo da vida do pavimento.

Sendo o manual SATCC [1] um guia de pré-dimensionamento de pavimentos cujo objetivo é, a fácil leitura e compreensão do manual, a informação contida encontra-se reduzida ao essencial, não estando documentada toda a informação necessária relativa aos materiais utilizados nas várias camadas de pavimento. De uma forma geral, o tipo de base e sub-base encontra-se definido e varia para cada catálogo, estando apenas as camadas de desgaste definidas para todos os catálogos, podendo ser mistura betuminosa ou revestimento superficial. O tipo de material a utilizar irá depender da natureza e do tratamento do necessário, sendo que a escolha é sempre condicionada pela disponibilidade e/ou adequabilidade dos materiais.

No manual CEBTP [2], os materiais que poderão ser utilizados na estrutura do pavimento para sub-base, base e camada de desgaste já se encontram apresentados diretamente no catálogo, havendo várias alternativas disponíveis. A escolha do material irá depender da funcionalidade da via, da qualidade que se pretenda do material, do local da obra e obviamente da disponibilidade do material.

2.4.5.QUADRO RESUMO

No Quadro 2.15, encontra-se um quadro resumo dos dados necessários ao pré-dimensionamento de estrutura de pavimento para os parâmetros de tráfego, fundação e condições climáticas, de ambos os manuais de dimensionamento.

Quadro 2.15 - Resumo de dados necessário ao pré-dimensionamento da estrutura do pavimento

		Manuais de dimensionamento	
Parâmetros	Dados necessários	SATCC [1]	CEBTP [2]
	Período de dimensionamento (anos)	10-20	15
			Crescimento exponencial
	Tráfego total acumulado de projeto	Crescimento exponencial $TMDA \times 365 \times \frac{(1+i)^n - 1}{i}$	$TMDA \times 365 \times \frac{(1+i)^n - 1}{i}$ Crescimento linear
Tráfego			$365 \times n \times TMDA \times \left[\frac{2 + (n-1)i}{2} \right]$
	Fator de agressividade	$\left(\frac{P [t]}{8,0} \right)^\alpha$	$\left(\frac{P [t]}{8,2} \right)^\alpha$
	Classes de tráfego	T1 a T8 (0,3 a 30 milhões de eixos-padrão equivalentes)	T1 a T5 (3 a 100 milhões de eixos-padrão equivalentes)
Condições de Fundação	Classes de fundação, CBR	S1 a S6 (2% a >30 %)	S1 a S5 (<5% a >30%)
Condições Climáticas	Precipitação média anual	Região seca <250 mm Região húmida >500 mm	-

3

MANUAIS DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS NA AMÉRICA DO SUL

3.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo, são descritos e analisados os manuais de pré-dimensionamento de pavimentos rodoviários da América Latina, cujos mercados são importantes para as empresas portuguesas. No Quadro 3.1, apresentam-se os manuais abordados nesta tese e os respetivos países de aplicação.

Inicialmente, são apresentados e analisados os vários parâmetros necessários à definição e conceção da estrutura base do pavimento, das quais se destaca, naturalmente, o tráfego, as condições de fundação e as condições climáticas. A abordagem e o tratamento de informação destes parâmetros é diferente nos vários manuais estudados.

Após analisados os parâmetros de dimensionamento adotados para cada um dos manuais é possível ter a ideia da estrutura de pavimento, sendo nesta altura necessário, ter o conhecimento dos materiais a utilizar em cada uma das suas camadas.

Seguidamente são definidos e descritos os critérios de ruína considerados por cada manual, como base para a definição das estruturas de pavimento.

Por fim, a título comparativo e informativo é apresentada uma análise comparativa dos manuais latino-americanos estudados.

Quadro 3.1 - Manuais de dimensionamento da América Latina

País	Manual de dimensionamento
Colômbia	INVIAS - <i>Manual de diseño de pavimentos com médios y altos volúmenes de tránsito</i> , 1998
México	SCT - <i>Catálogo de Secciones Estructurales de Pavimentos para las Carreteras de La República Mexicana</i> , 2011
Perú	MANUAL DE CARRETERAS - <i>Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos</i> , seção: <i>Suelos y Pavimentos</i> , 2013
Brasil	DNER - <i>Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis</i> , 1981

3.2. MANUAL DO INVIAS

Com o propósito de estabelecer uma metodologia que permitisse uniformizar tanto o método de dimensionamento como os critérios para qualificar as principais condicionantes de um projeto, o Instituto Nacional de Vias da Colômbia (INVIAS) contratou uma série de profissionais, que elaboraram o manual designado por “*Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito*” [3]. Este manual constitui um guia de procedimento para dimensionamento de pavimentos flexíveis e apresenta um catálogo de estruturas de pavimento com alternativas de solução.

Refere-se que o manual colombiano foi elaborado com base na versão de 1993 do método da “*American Association of State Highway and Transportation Officials*” [11]. A categorização das principais variáveis obedece a uma análise detalhada do espectro de climas, cargas dos veículos, solos de fundação e materiais existentes nas diferentes regiões do país. Assim, o catálogo proposto pelo manual do INVIAS [3] depende essencialmente de três parâmetros: tráfego, condições climáticas, e condições de fundação, descritos respetivamente de seguida.

3.2.1. TRÁFEGO

3.2.1.1. Período de dimensionamento

A estrutura de um pavimento deve ser adequada à importância da via e ao tipo de tráfego que a compõe, e portanto, neste manual, o período de vida útil recomendado para o dimensionamento do pavimento é dependente da categoria da via em que se insere.

No Quadro 3.2, são apresentadas as diferentes categorias das vias e o seu respetivo período de dimensionamento, de acordo com o manual colombiano. Como se constata, o período de dimensionamento é maior em vias de categoria I e mais reduzido no caso de vias de categoria III.

Quadro 3.2 - Período de dimensionamento para cada categoria da via (adaptado de [3])

	Categoria da via			
	I	II	III	Especial
Descrição	Autoestradas e itinerários principais	Vias coletoras, estradas rurais e industriais principais	Estradas rurais com tráfego médio, caminhos estratégicos	Estradas com pavimentos especiais
Importância	Muito importante	Importante	Pouco importante	Importante a pouco importante
Tráfego médio diário (veic/dia)	>5000	1000 - 10000	<1000	<10000
Período de dimensionamento recomendado (anos)	20	15	10	10 - 15

3.2.1.2. Classes de tráfego

O manual colombiano do INVIAS classifica o tráfego em função do número acumulado de eixos padrão equivalentes a 8,2 toneladas ($N_{8,2}$). No Quadro 3.3, apresenta-se as diferentes classes de tráfego contempladas para este documento.

Quadro 3.3 - Classes de tráfego [3]

Classe de tráfego	$N_{8,2}$ [milhões de eixos-padrão]
T1	0,5 – 1
T2	1 – 2
T3	2 – 4
T4	4 – 6
T5	6 – 10
T6	10 – 15
T7	15 – 20
T8	20 – 30
T9	30 - 40

De forma a obter o número de eixos padrão equivalente ao longo do período de vida útil do pavimento é necessário conhecer o número acumulado de veículos e o respetivo fator de agressividade.

O manual colombiano de pré-dimensionamento considera dois métodos para estimar o número acumulado de eixos-padrão equivalentes ao longo da vida útil do pavimento.

O Método 1 consiste em estimar o número de eixos equivalentes acumulados no período de projeto através de projeções simples do número de eixos equivalentes no ano base. Neste caso, é necessário conhecer o tráfego médio diário, a percentagem de veículos pesados e o fator de equivalência para o ano inicial de projeto assim como a taxa de crescimento.

No Método 2 estima-se o número acumulado de eixos equivalentes no período de projeto a partir da extrapolação do número de eixos equivalentes a partir de uma série de dados passados.

Passa-se, de seguida, à descrição dos dois métodos referidos.

No **Método 1** é necessário conhecer as informações de tráfego necessárias através de contagens realizadas durante uma semana, assim como as tendências de crescimento representativas da zona em estudo. No caso de vias novas, não sendo possível a realização de contagens, a informação deve ser recolhida através de inquéritos origem/destino realizadas na zona de influência do projeto.

Conhecidas as características de tráfego, o número de eixos-padrão equivalente a 8,2 toneladas, acumulado durante o período de dimensionamento é calculado considerando-se crescimento exponencial de tráfego, como se indica na expressão (7).

$$N_{8,2} = (N_o - N_c) \times \frac{(1+i)^n - 1}{i} + N_c \quad (7)$$

em que:

$N_{8,2}$ é o número de eixos equivalentes de 8,2 t que se prevê circular na via de projeto, durante o período de vida útil (n);

N_o , o número de eixos padrão equivalentes de 8,2 t que circulam na faixa de rodagem, no ano inicial de serviço;

N_c , o número de eixos padrão equivalentes de 8,2 t já suportados pelo pavimento durante a construção do pavimento;

n , o número de anos de vida útil do pavimento;

i , a taxa de crescimento anual do tráfego.

Para estimar o número de eixos padrão equivalente a 8,2 toneladas que circulam no ano inicial de vida de projeto, na faixa de rodagem, o manual colombiano propõe a expressão (8).

$$N_o = (N_i + N_a + N_g) \times F_d \times F_{ca} + N_c \quad (8)$$

Nesta expressão,

N_i é o número de eixos equivalentes de 8,2 t no ano que se realizaram as medições de tráfego, corrigido pelo tempo decorrido entre este e o ano de início de serviço;

N_a é o número de eixos equivalentes de 8,2 t no ano de entrada em serviço, oriundo de outras estradas;

N_g é o número de eixos equivalentes de 8,2 t no ano de entrada em serviço, gerados pela melhoria de estrada;

N_c é o número de eixos equivalentes de 8,2 t já suportados, durante a construção do pavimento;

F_d é o fator de distribuição direcional;

F_{ca} é o fator de distribuição por via.

No **Método 2**, o número acumulado de eixos padrão equivalente é estimado a partir de dados históricos acerca do tráfego. Os passos, deste método são:

- i. estabelecer uma série histórica de Tráfego Diário Médio Semanal (TDMS) dos últimos 10 anos;
- ii. converter o TDMS observado em cada um dos anos da série histórica em eixos equivalentes acumulados durante esse ano, na via de projeto.

A conversão para cada ano, deverá ser feita da seguinte maneira:

$$N_{8,2 \text{ ano}_i} = 365 \times \left(\text{TDMS}_i \times V_{\text{pesados}_i} \times F_{c_{\text{ano}_i}} \right) \times F_d \times F_{dv} \quad (9)$$

em que:

$N_{8,2 \text{ ano}_i}$ é o número acumulado de eixos equivalentes de 8,2 t, que circularão no ano i ;

ano_i é um dos anos da série histórica;

TDMS_i é o tráfego Diário Médio Semanal no ano i da série histórica (tráfego somado das duas direções);

V_{pesados_i} é a percentagem de veículos pesados obtidos no ano i da série histórica;

$F_{c_{\text{ano}_i}}$ é fator de equivalência (ou agressividade) global para o ano i ;

F_d é o fator de distribuição direcional;

F_{dv} é o fator de distribuição por via.

O fator de agressividade global, F_c, é calculado pela expressão (10),




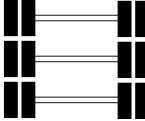
$$F_c = \frac{\sum F_d \times F_i}{\sum C_i} \quad (10)$$

em que,

F_i é o fator de agressividade indicado no Quadro 3.4, em função do tipo de eixo do veículo. A definição do fator F_i, teve por base o guia da AASHTO [11];

C_i é o número de veículos pesados diário do tipo *i* que circula na estrada no ano em que se efetua as contagens e estudo do pavimento.

Quadro 3.4 - Fator de agressividade para cada tipo de eixo, F_i

Tipo de eixo	Configuração dos eixos	Fator de agressividade
Eixo simples		$\left[\frac{P}{6,6} \right]^{4,0}$
Eixo simples de rodas duplas		$\left[\frac{P}{8,2} \right]^{4,0}$
Eixo tandem (2 eixos de rodas duplas)		$\left[\frac{P}{15} \right]^{4,0}$
Eixo tridem (3 eixos de rodas duplas)		$\left[\frac{P}{21} \right]^{4,0}$

P = peso real por eixo em toneladas

O fator representa o número de vezes que passa o eixo normalizado de 8,2 toneladas por cada passagem do tipo de veículo considerado (tipo de eixo considerado).

3.2.2. REGIÕES CLIMÁTICAS

Como é sabido, o clima influencia de maneira significativa o comportamento mecânico dos materiais que formam as camadas de um pavimento. Desta forma, é necessário, aquando do dimensionamento de um pavimento, considerar as condições climáticas de modo a evitar o uso de materiais suscetíveis à água e escolher as misturas betuminosas, cujo comportamento à temperatura é adequado.

No Quadro 3. 5, são apresentadas as seis regiões climáticas definidas no manual colombiano, regiões cuja definição tem por base a temperatura e a precipitação.

Quadro 3. 5 - Regiões climáticas segundo a temperatura e precipitação [3]

Região	Características	Temperatura (°C)	Precipitação média anual (mm)
R1	Fria seca e fria semi-húmida	<13	<2000
R2	Temperado seco e temperado semi-húmido	13 – 20	<2000
R3	Quente seco e quente semi-húmido	20 – 30	<2000
R4	Temperado húmido	13 – 20	2000 – 4000
R5	Quente húmido	20 – 30	2000 – 4000
R6	Quente muito húmido	20 - 30	>4000

3.2.3. CLASSE DE FUNDAÇÃO

Para a consulta do catálogo de estruturas de pavimentos é necessário definir a classe de fundação. Devido à grande diversidade de solos a fundação de pavimentos agrupa-se nas cinco categorias descritas no Quadro 3.6.

Quadro 3.6 - Classes de fundação [3]

	Classe de fundação				
	S1	S2	S3	S4	S5
CBR [%]	3 – 5	5 – 7	7 – 10	10 – 15	>15
Módulo de deformabilidade, E [MPa]	30 – 50	50 – 70	70 - 100	100 – 150	>100

Para o cálculo do módulo de deformabilidade (E), este manual utiliza a seguinte correlação:

$$E[\text{MPa}] = 10 \text{ CBR } [\%] \quad (11)$$

3.2.4. MATERIAIS DE PAVIMENTAÇÃO

A seleção dos materiais para o dimensionamento de pavimentos é baseada numa combinação de fatores como a qualidade, disponibilidade, economia e experiência prévia de uso. Estes fatores necessitam de ser avaliados durante o dimensionamento, de modo a selecionar os materiais que melhor se adaptem às condições de projeto.

A classificação dos materiais, adotada no manual do INVIAS [3] é apresentada no Quadro 3.7. Para cada material é estabelecido um código, descrição e especificação abreviada. Os códigos listados são usados extensivamente no catálogo INVIAS e nas normas de ensaio do *Instituto Nacional de Vias* [3].

Quadro 3.7 - Identificação e especificação dos materiais (adaptado de [3])

Material	Código	Especificações
Sub-base		
Agregado graúdo	SBG-1	D_{\max} 50mm, % passados #4= 30 a 70%, % passados #200= 4 a 20% $D \leq 50\%$, $P \leq 12 - 18\%$, $EA \geq 25\%$, $IP \leq 6$, $CBR > 20-30-40$, 95% Proctor Modificado
Base granular		$Tr \geq 50\%$, $D \leq 40\%$, $P \leq 12 - 18\%$, $la \leq 35\%$, $CBR \geq 80\%$
Material britado	BG-1	D_{\max} 37,5mm, % passados #4= 30 a 60%, passados #200= 5 a 15% $IP \leq 3$, compactação 100% Proctor Modificado
Material britado	BG-2	D_{\max} 25mm, % passados #4= 35 a 65%, passados #200= 5 a 15% $IP \leq 3$, compactação 100% Proctor Modificado
Base estabilizada com emulsão betuminosa		Emulsão: CRL-1 ou CRL-1h
Solo graúdo	BEE-1	D_{\max} 37,5mm, % passados #4= 30 a 60%, passados #200= 3 a 15% $IP < 7$, $D \leq 50\%$, compactação 95% Proctor Modificado
Solo graúdo	BEE-2	D_{\max} 25mm, % passados #4= 30 a 60%, passados #200= 3 a 15% $IP < 7$, $D \leq 50\%$, compactação 95% Proctor Modificado
Solo A-1-b ou A-2-4	BEE-3	$EA \leq 90\%$ A-1-b e $20 \leq EA \leq 40\%$ A-2-4 D_{\max} 4,75mm, % passados #200= 5 a 25%, CBR s/ estabilizar ≥ 15 , $IP \leq 7$, compactação 95% Proctor Modificado
Base estabilizada com cimento		Cimento Portland: NTC 121 e 321
Material granular	BEC	$D_{\max} \leq 75\text{mm}$ e $< \frac{1}{2}$ da espessura da camada compactada % passados #4 $\geq 50\%$, % passados #200 $\leq 50\%$ $LL \leq 35$, $IP < 15$, % de $SO_4 \leq 0,5$
Mistura densa a frio		Emulsão: CRL-1 ou CRL-1h
Agregado britado	MDF-1	D_{\max} 37,5mm, % passados #4 =45 a 60%, % passados #200 =3 a 8%
Agregado britado	MDF-2	D_{\max} 25mm, % passados #4 =47 a 62%, % passados #200 =3 a 8%
Agregado britado	MDF-3	D_{\max} 19mm, % passados #4 =50 a 65%, % passados #200 =3 a 8%
Mistura densa a quente		Betão betuminoso: 60 /70 a 80/100
Agregado britado	MDC-1	D_{\max} 25mm, % passados #4 =43 a 54%, % passados #200 =4 a 8%
Agregado britado	MDC-2	D_{\max} 19mm, % passados #4 =51 a 68%, % passados #200 =4 a 8%
Agregado britado	MDC-3	D_{\max} 9,5mm, % passados #4 =65 a 87%, % passados #200 =5 a 10%

D= % de desgaste; la= Índices de alargamento e aplanamento

P = % de perda de solidez; Tr= % de partículas trituradas

3.2.5.CRITÉRIOS DE RUÍNA

Os critérios de ruína subjacente à definição das estruturas de pavimentos do manual INVIAS [3] são:

- critério de fadiga das misturas betuminosas;
- critério de deformação permanente das camadas granulares.

3.2.6.ESTRUTURAS DE PAVIMENTO INDICADOS PELO MANUAL DO INVIAS

Com base na informação das classes de tráfego (T_i), de fundação (S_i), regiões climáticas (R_i) e características dos materiais, o manual do INVIAS [3] define seções estruturais, indicando alternativas de dimensionamento. São apresentados seis catálogos de dimensionamento em função da região climática (R1 a R6).

A título exemplificativo no Quadro 3.8, apresenta-se catálogo de estruturas proposto pelo manual colombiano para a região climática R2.

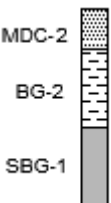
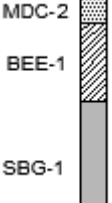
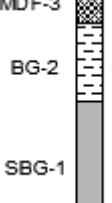
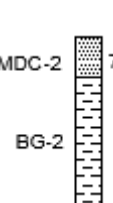
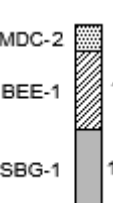
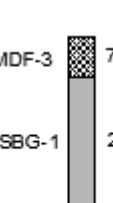
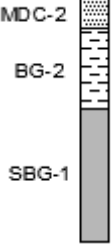
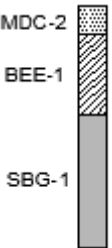
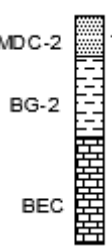
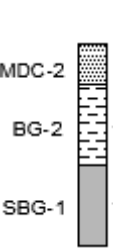


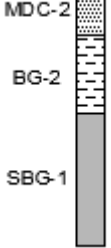
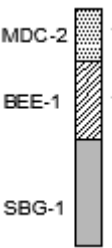
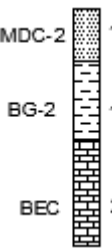
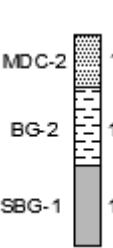
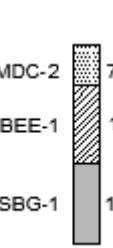
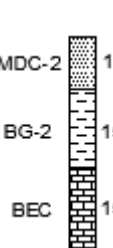
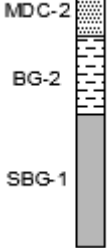
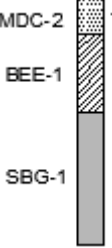
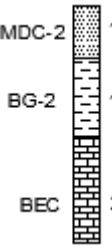
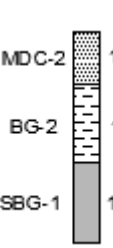

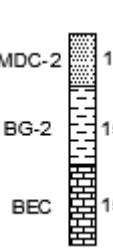
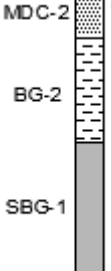
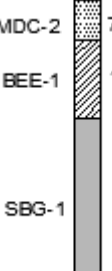
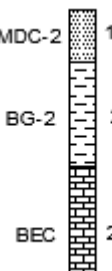
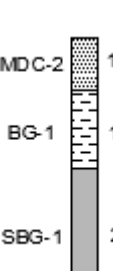
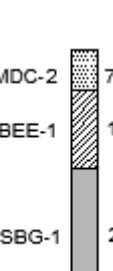
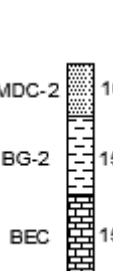
Quadro 3.8 - Catálogo de estruturas de pavimento do manual colombiano para região R2 e solo de fundação S4 e S5 (adaptado de [3])

Região 2 (R2)

Temperado seco e temperado húmido

TMAP 13°C – 20°C

Precipitação < 2000 mm/ano

	S4			S5		
T1						
T2						
T3						
T4						
T5						

Legenda:

T1 a T5 – Classes de Tráfego
S4 e S5 – Classes de Fundação

- BG - Base granular;
- BEC - Base Estabilizada com cimento;
- BEE - Base Estabilizada com emulsão betuminosa;
- MDF - Mistura densa a frio;
- MDC - Mistura densa a quente

3.3. MANUAL DESENVOLVIDO PELA SCT

A Direção Geral de Serviços Técnicos da Secretaria de Comunicações e Transportes da República Mexicana (SCT), criou o documento “ *Catálogo de secciones estructurales para pavimentos para las carreteras de la República Mexicana*” [4]. Este catálogo foi elaborado devido à necessidade de ter-se um guia útil que proponha e recomende estruturas de pavimento para estudos e projetos de pavimentos novos ou de reabilitação de pavimentos existentes. O manual desenvolvido pela SCT é aplicável tanto a, estradas normais como estradas de altas especificações e tanto para pavimentos flexíveis como para pavimentos rígidos.

Este documento considera a regionalização da República Mexicana quanto ao tipo de materiais que compõe o terreno natural, as temperaturas mínimas e máximas e a precipitação média, já que se trata de um país muito diversificado. Refere-se que esta informação serve como dado de entrada no dimensionamento de seções estruturais de pavimentos.

As seções estruturais de pavimentos indicadas no manual da SCT [4] foram definidas utilizando o método do Instituto de Engenharia da Universidade Nacional Autónoma do México (UNAM), no caso de pavimentos flexíveis, e, no método AASHTO’93 [11], no caso de pavimentos rígidos e semirrígidos.

No manual da SCT, os parâmetros de cálculo considerados no cálculo dos pavimentos do catálogo, tais como, o módulo de deformabilidade de misturas asfálticas e dos solos foram obtidos com recurso a ensaios de laboratório realizados com materiais extraídos de pavimentos existentes das estradas da República Mexicana.

Em seguida, são descritos, o tráfego e as condições climáticas e geotécnicas, dados de entrada para o uso do catálogo mexicano.

3.3.1. TRÁFEGO

O tráfego de projeto é definido também neste catálogo pelo número acumulado de eixos padrão equivalentes de 8,2 t, calculado a partir do número de veículos projetado a partir do tráfego médio diário anual (TMDA) do último registo ou da última previsão de estradas existentes ou novas, respetivamente.

3.3.1.1. Período de dimensionamento

Segundo o manual do SCT, no cálculo do número acumulado de eixos padrão, o horizonte de projeto considerado foi para todos os tipos de pavimento, de 20 anos.

3.3.1.2. Classes de Tráfego

A classe de tráfego é definida, neste manual mexicano, a partir do número total de eixos-padrão equivalente que irá solicitar o pavimento durante a sua vida útil. No

Quadro 3.9, estão representadas as cinco classes de tráfego.

Quadro 3.9 - Classes de Tráfego [4]

$N_{8,2}$ (milhões de eixos padrão)	Classes de Tráfego				
	T1	T 2	T 3	T 4	T 5
	<10	10 – 20	20 – 40	40 – 80	> 80

O número de eixos padrão equivalentes a 8,2 toneladas ao longo da vida útil de projeto é calculado pela expressão (3), para o crescimento de tráfego exponencial.

O número acumulado de eixos simples equivalentes de 8,2 t, esperado no horizonte de projeto é calculado utilizando um critério indicado na publicação 444 “*Instructivo para diseño estructural de pavimentos flexibles para carreteras*” [13] do Instituto de Engenharia da UNAM, que considera coeficientes de dano em função da profundidade (Z). Este coeficiente é obtido através do dano causado pelo eixo analisado e o eixo equivalente de 8,2 t. O número acumulado de eixos equivalentes é obtido pela equação seguinte:

$$N_{8,2} = T_{\text{acumulado}} \times C_d \times F_{ca} \times F_d \quad (12)$$

em que:

$T_{\text{acumulado}}$ é o tráfego total acumulado de projeto (ver expressão (3));

C_d , o coeficiente de dano (em função do tipo de veículo);

F_d , o fator de distribuição direcional;

F_{ca} , o fator de distribuição por via.

3.3.2. REGIONALIZAÇÃO DA REPÚBLICA MEXICANA: CONDIÇÕES CLIMÁTICAS E GEOTÉCNICAS

Dada a diversidade climática e geotécnica, a República Mexicana está separada em várias regiões de acordo com três parâmetros:

- tipo de solo existente;
- precipitação pluvial máxima;
- temperatura máxima e mínima.

Em função destes três parâmetros, são definidas cinco regiões, denominadas R1, R2, R3, R4 e R5 que se mostram na Figura 3.1. A região R1 apresenta condições mais adequadas ao comportamento dos pavimentos (cor verde no mapa), ou seja, regiões com menores amplitudes térmicas, temperaturas máximas moderadas, baixas precipitações e solos com boas características de fundação, e a região R5 (representado a cor vermelha) corresponde às condições mais adversas.

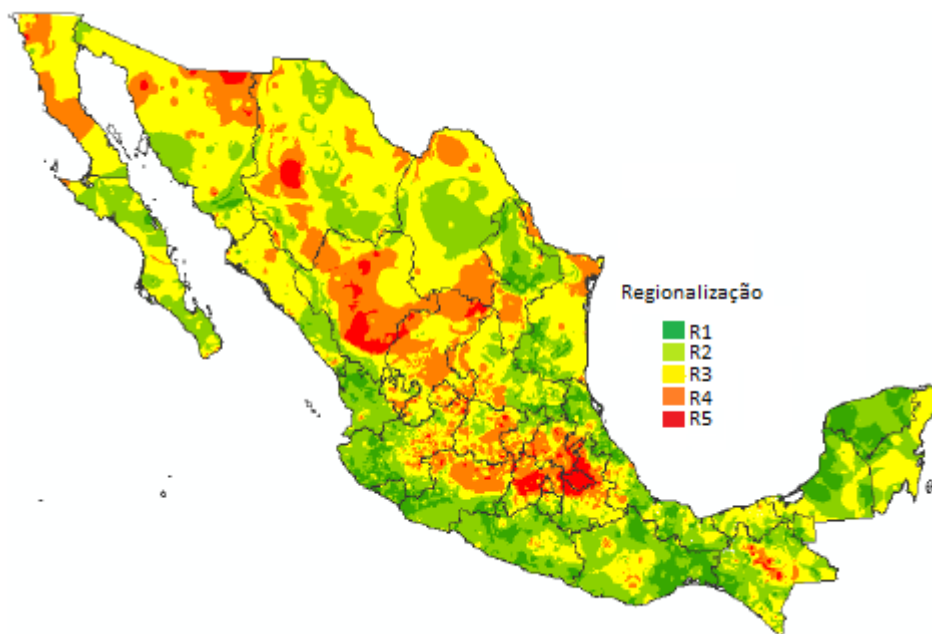


Figura 3.1 - Regionalização da república mexicana segundo a temperatura, precipitação e qualidade do solo [4]

Para determinar a região onde se construirá o pavimento é necessário determinar a sua “classificação global” (C_g), que se encontra dividida em cinco intervalos, tal como se pode observar no Quadro 3.10.

Quadro 3.10 - Classificação da região em função da classificação global [4]

Classificação global	Classificação da região
80 a 100	R1
60 a 79,9	R2
40 a 59,9	R3
20 a 39,9	R4
0 a 19,9	R5

A “classificação global” (C_g), é obtida através do somatório de todas as classificações por influência (C_i), como se indica na expressão (13).

$$C_g = \sum C_i \quad (13)$$

A classificação por influência representa o impacto que cada parâmetro tem no comportamento do pavimento (equação 14).

$$C_i = C_p \times F_i \quad (14)$$

em que:

Ci é a classificação por influência;

Cp é a classificação particular, de acordo com o Quadro 3.11;

Fi o fator de influência, de acordo com o Quadro 3.13.

A “classificação particular” (Cp) depende dos parâmetros de temperatura, precipitação e tipo de solo da zona onde se irá construir o pavimento. A classificação particular (Cp) foi estabelecida numa escala de 0 a 100, onde os valores de 0 e 100 representam, respetivamente, a condição mais desfavorável e favorável para o comportamento do pavimento. No Quadro 3.11, é apresentada a classificação particular, segundo as condições do local da obra a desenvolver. O parâmetro relativo ao solo é classificado em função do conceito “aptidão” que se define como a capacidade que os materiais têm de suportar as cargas que atuam sobre estes sem sofrer deformações excessivas e sem colapsar por resistência ao esforço transversal. No Quadro 3.12, é indicada a aptidão para diferentes tipos de solos e rochas.

Quadro 3.11 - Classificação particular (Cp) segundo as condições locais [4]

Parâmetro	Valor máximo	Valor mínimo	Classificação particular (Cp)
Temperatura máxima, °C	50,0	36,2	0
	36,1	34,0	25
	33,9	32,0	50
	31,9	29,3	75
	29,2	10,0	100
Temperatura mínima, °C	2,2	-14,0	0
	6,7	2,3	25
	11,3	6,8	50
	15,8	11,4	75
	27	15,9	100
Precipitação máxima, mm	550,0	213,7	0
	213,6	158,1	25
	158,0	111,1	50
	111,0	66,3	75
	66,2	0,0	100
Classificação dos solos e rochas (Quadro 3.12)	Aptidão muito baixa		0
	Aptidão baixa		25
	Aptidão média		50
	Aptidão alta		75
	Aptidão muito alta		100

Quadro 3.12 - Aptidão dos solos e rochas [4]

Sigla	Descrição	Aptidão
OH	Siltes ou argilas orgânicas de alta plasticidade	Muito baixa
OL	Siltes ou argilas orgânicas de baixa plasticidade	Muito baixa
CH	Argila de alta plasticidade	Baixa
CL	Argila de baixa plasticidade	Média
MH	Silte de alta plasticidade	Baixa
ML	Silte de baixa plasticidade	Média
SC	Areia argilosa	Alta
SM	Areia siltosa	Muito Alta
SP	Areia mal graduada	Alta
GC	Cascalho argiloso	Muito Alta
GM	Cascalho siltoso	Muito Alta
GP	Cascalho mal graduado	Muito Alta
-	Rochas	Muito Alta

Considerando que cada parâmetro das condições climáticas tem um certo grau de influência no comportamento do pavimento, foi definido, de forma empírica, os seguintes valores para o fator de influência, F_i , como se mostra no Quadro 3.13.

Quadro 3.13 - Fatores de influência, F_i [4]

Parâmetro	Fator de influência (F_i)
Temperatura mínima	15%
Temperatura máxima	30%
Precipitação máxima	20%
Terreno natural	35%

3.3.3. MATERIAIS DE PAVIMENTAÇÃO

O manual da SCT aborda o dimensionamento de pavimentos flexíveis e rígidos, no entanto no âmbito deste trabalho apenas são abordados os parâmetros relativos ao dimensionamento de pavimentos flexíveis. Desta forma nesta seção apenas são referidos os materiais que constituem as estruturas de pavimento flexíveis, presente no catálogo.

A caracterização dos materiais usados como *input* na definição das estruturas de pavimento do manual SCT [4] considera os módulos de deformabilidade (E), obtidos com recurso a ensaios de laboratório extraídos de amostras efetuadas. No caso de misturas betuminosas, o módulo de deformabilidade foi determinado a partir do ensaio de tensão indireta descrito na norma ASTM D 4123 [14] com uma

frequência de aplicação de carga de 1 Hz e magnitude de carga de $2\text{kN} \pm 0,2$ a uma temperatura de 20°C . Os requisitos de qualidade das misturas betuminosas estão indicados na *Normativa para la Infraestructura del Transporte* da SCT, designado por “*Calidad de mezclas asfálticas para carreteras*”[15].

Para fins deste catálogo é considerado que a camada betuminosa deve ter um módulo de deformabilidade no mínimo de 3500 MPa.

Para as camadas de fundação, o módulo de deformabilidade dos materiais foi obtido com ensaios triaxiais de compressão aplicando cargas cíclicas, segundo o procedimento indicado no guia AASHTO 1993 [11].

O manual da SCT [4], apresenta valores mínimos para o módulo de deformabilidade, das camadas de base, sub-base e fundação dos pavimentos flexíveis, que estão indicados no Quadro 3.14.

Quadro 3.14 - Módulos mínimos de deformabilidade dos materiais de bases, sub-bases e fundação [4]

Módulo de deformabilidade, MPa			
BH	BEA	SB	SR
Base hidráulica	Base estabilizada com betume	Sub-base	Fundação
≥ 300	≥ 3000	≥ 200	≥ 120

As características dos materiais utilizados nas camadas granulares de base e sub-base e nas camadas betuminosas estão indicados no manual “*Manual de Calidad de los Materiales en Secciones Estructurales de Pavimentos Carreteros*”[16].

3.3.4. CRITÉRIOS DE RUÍNA

O manual mexicano considera os critérios de ruína estabelecidos no método de dimensionamento do Instituto de Engenharia da UNAM, sendo eles o critério de deformação permanente das camadas granulares e o critério de fadiga das camadas betuminosas, com um nível de confiança de 85% para estradas correntes e 95% para estradas de altas especificações.

Nas estradas correntes admite-se deformações permanentes na ordem dos 2,5 cm e fissuração média a forte no final da vida do projeto, enquanto que nas outras estradas deve garantir-se a conservação de um nível de serviço alto até ao final da vida de projeto, ou seja, 1,2 cm de deformação permanente e fissuração ligeira a média

.

3.3.5. ESTRUTURAS DE PAVIMENTO INDICADOS PELO MANUAL SCT

Para seleccionar as seções estruturais do pavimento, segundo o catálogo da SCT [4], é necessário conhecer a classe de tráfego, a região onde se aplica o pavimento, o tipo de estrada que se quer construir (estradas normais ou de altas especificações) e o tipo de pavimento pretendido (pavimento flexível ou rígido). Com estes dados de entrada selecciona-se um grupo de seções estruturais de pavimentos adequadas para o caso em estudo. Das seções propostas, o engenheiro deve seleccionar a mais conveniente de acordo com a disponibilidade de materiais e o custo dos mesmos.

No Quadro 3.15 é apresentado um caso do catálogo de estruturas do manual mexicano para estradas correntes, sendo que as seções estruturais aparecem ordenadas por região e pela classe de tráfego.

Neste Quadro, a legenda é:

T1 a T5 – classes de tráfego (ver

Quadro 3.9);

R1 a R3 – região climática (ver Quadro 3.10);

CA – camada betuminosa;

CH – betão;

SB – sub-base;

BH – base hidráulica;

BEA – base estabilizada com betume;

BEC – base estabilizada com betão;

BMC – base modificada com betão;

As espessuras indicadas no Quadro 3.15 são dadas em centímetros [cm].

Quadro 3.15 - Exemplo de catálogo de estruturas do manual mexicano para estradas normais (adaptado de [4])

Tráfego	R1		R2		R3	
T1						
T2						
T3						
T4						
T5						

3.4. MANUAL DE CARRETERAS: “SUELOS, GEOLOGÍA, GEOTECNIA Y PAVIMENTOS”

A “*Dirección General de Caminos y Ferrocarriles*” do Ministério de Transportes e Comunicações é a entidade responsável pela criação dos manuais de dimensionamento de pavimentos na República do Perú. O documento aqui analisado será a seção “*Suelos y Pavimentos*” do manual “*Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos*” [5] que faz parte de um conjunto de manuais designados por “*Manuales de Carreteras*”, estabelecidas pelo regulamento nacional de gestão e infraestrutura rodoviária.

A seção “*Suelos y Pavimentos*” tem por finalidade proporcionar aos engenheiros critérios homogêneos para seleção de solos e de estruturas de pavimentos para o dimensionamento de estradas pavimentadas e não pavimentadas.

Este manual apresenta metodologias de dimensionamento para pavimentos flexíveis, semi-rígidos e rígidos, que têm como referência principal a AASHTO’93 [11], documento correntemente utilizado no dimensionamento de pavimentos no Perú.

Neste trabalho, apenas é abordado o pré-dimensionamento de estruturas de pavimentos flexíveis, de modo a ser possível uma posterior comparação com os restantes manuais em estudo.

No *Manual de Carreteras* os parâmetros de entrada são o tráfego e a classe de fundação, que se descrevem de seguida com maior detalhe.

3.4.1. TRÁFEGO

3.4.1.1. Período de dimensionamento

O *Manual de Carreteras* [5] considera para o período de dimensionamento 10 anos, para estradas de baixo volume de tráfego, e, para estradas de maior volume de tráfego, 20 anos.

3.4.1.2. Classes de Tráfego

Refere-se que este manual apresenta diferentes classes de tráfego para estradas pavimentadas e não pavimentadas, apresentadas respetivamente, nos Quadro 3.16 Quadro 3.17

Quadro 3.16 - Classes de Tráfego para estradas pavimentadas [5]

Classe de Tráfego	$N_{8,2}$ (milhões de eixos padrão)
T0	0,075 – 0,15
T1	0,15 – 0,3
T2	0,3 – 0,5
T3	0,5 – 0,75
T4	0,75 – 1
T5	1 – 1,5
T6	1,5 – 3
T7	3 – 5
T8	5 – 7,5
T9	7,5 – 10
T10	10 – 12,5
T11	12,5 – 15
T12	15 – 20
T13	20 – 25
T14	25 – 30
T15	>30

Quadro 3.17 - Classes de Tráfego para estradas não pavimentadas [5]

Classe de Tráfego	$N_{8,2}$ (milhões de eixos padrão)
T1	$\leq 0,025$
T2	0,025 – 0,075
T3	0,075 – 0,15
T4	0,15 – 0,3

À semelhança de outros manuais de dimensionamento a classe de tráfego é definida pelo número acumulado de eixos equivalentes a 8,2 t para o período de projeto do pavimento, número calculado pela expressão (15).

$$N_{8,2} = \sum (EE_{\text{dia-via}} \times F_{ca} \times 365) \quad (15)$$

em que:

F_{ca} é o fator de crescimento acumulado, por tipo de veículo pesado, cujos valores se encontram tabelados no Quadro 6.2 do presente manual em estudo [5].

$EE_{\text{dia-via}}$ é o número de eixos equivalentes a 8,2 t por cada tipo de veículo pesado, por dia, para a via de projeto, estimado pela expressão (16).

$$EE_{\text{dia-via}} = TMDA_{\text{atual}} \times F_d \times F_c \times F_i \times F_{p_i} \quad (16)$$

$TMDA_{\text{atual}}$, o tráfego médio diário anual para cada categoria de veículos;

F_d , o fator de distribuição direcional;

F_{dv} , o fator de distribuição por via;



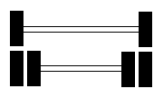
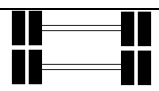
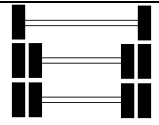
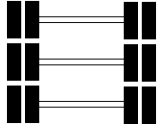
F_i , o fator de agressividade de acordo com o Quadro 3.18;

F_{p_i} , o fator de pressão dos pneumáticos

Para uma melhor compreensão destes do significado destes parâmetros deve consultar-se o capítulo VI do presente manual em estudo [5].

No Quadro 3.18 apresentam-se as relações de cargas por eixo que permitem determinar o fator de agressividade de cada tipo de eixo, F_i , em pavimentos flexíveis, de acordo com a AASHTO [11].

Quadro 3.18 - Fator de agressividade, F_i , para cada tipo de eixo (adotado de [5])

Tipo de eixo	Configuração dos eixos	Fator de agressividade, F_i
Eixo simples		$\left[\frac{P}{6,6} \right]^{4,0}$
Eixo simples de rodas duplas		$\left[\frac{P}{8,2} \right]^{4,0}$
Eixo tandem (1 eixo de rodas duplas e 1 eixo de rodas simples)		$\left[\frac{P}{14,8} \right]^{4,0}$
Eixo tandem (2 eixos de rodas duplas)		$\left[\frac{P}{15,1} \right]^{4,0}$
Eixo tridem (2 eixos de rodas duplas e 1 eixo de roda simples)		$\left[\frac{P}{20,7} \right]^{3,9}$
Eixo tridem (3 eixos de rodas duplas)		$\left[\frac{P}{21,8} \right]^{3,9}$
P = peso real por eixo do veículo, em toneladas		

3.4.2. CLASSE DE FUNDAÇÃO

De modo a definir, a estrutura do pavimento a partir do catálogo de estruturas apresentado por este manual, é necessário definir, além da classe de tráfego, a classe de fundação. Tal como noutros manuais, as características, de cada classe de fundação são definidas de acordo com o valor CBR do solo. No Quadro 3.19, são apresentadas as cinco classes de fundação definidas pelo manual peruano.

Quadro 3.19 - Classes de fundação [5]

CBR da fundação [%]	Classe de fundação				
	S1	S2	S3	S4	S5
	3 – 6	6 – 10	10 – 20	20 – 30	>30

3.4.3. MATERIAIS DE PAVIMENTAÇÃO

No Quadro 3.20, apresenta-se os materiais sugeridos pelo manual peruano para aplicar na camada superficial e nas camadas de base e sub-base dependendo do volume de tráfego.

Refere-se que detalhes relativos aos requisitos mínimos exigidos para os materiais das camadas de sub-base, base e superficial devem ser consultados no manual peruano em estudo [5] e complementadas com os requerimentos das *Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción de Carreteras del MTC* [17].

3.4.4. CRITÉRIOS DE RUÍNA

Uma vez que o *Manual de Carreteras* apresenta como principal referência a AASHTO'93 [11] para as metodologias de dimensionamento para pavimentos flexíveis os critérios de ruína adotados por este manual são o critério de fadiga das camadas betuminosas e o critério deformação permanente para o topo da camada de fundação.

Por forma a analisar o comportamento das estruturas de pavimento presentes nos catálogos deste manual, a estruturas são analisadas com o modelo HDM III (*Highway Development & Management*) [18], sendo este, de ampla e reconhecida aplicação no México.

3.4.5. ESTRUTURAS DE PAVIMENTO INDICADOS PELO *MANUAL DE CARRETERAS*

Os catálogos de estruturas de pavimentos apresentados por este manual encontram-se divididos em:

- tipo de pavimento (pavimentos flexíveis, semi-fléxiveis e rígidos);
- volume de tráfego (estradas de baixo volume ou alto volume de tráfego);
- período de dimensionamento;
- material utilizado na camada superficial (indicados no Quadro 3.20)

No Quadro 3.21, é apresentado um exemplo do catálogo de estruturas apresentado pelo manual peruano. As estruturas de pavimento apresentadas neste Quadro são para pavimentos flexíveis, para as classes de tráfego de T0 a T7 com revestimento betuminoso a quente, em função da classe de fundação e para um período de 20 anos.

Quadro 3.20 - Materiais a aplicar nas diferentes camadas de pavimento (adaptado de [5])

Tipo de camada	Observação
Camada superficial	
Revestimento betuminoso a quente	Camada superficial de pavimento recomendada para todas as classes de tráfego
Revestimento betuminoso a frio, mistura betuminosa com emulsão	Camada superficial recomendada para classes de tráfego de T1 a T5
Micropavimento 25mm	Camada superficial recomendada para classes de tráfego de T1 a T5
Bicamada com tratamento superficial	Camada superficial recomendada para classes de tráfego de T1 a T3. Não se aplica em tramos com inclinação superior a 8%
<i>Slurry seal</i> de 12 mm	Camada superficial recomendada para classes de tráfego de T1 a T3. Não se aplica em tramos com inclinação superior a 8%
Base	
Base granular CBR 80% compactação 100% Proctor Modificado	Camada de base recomendada para classes de tráfego de T1 a T8
Base granular CBR 100% compactação 100% Proctor Modificado	Camada de base recomendada para classes de tráfego de T1 a T8
Base granular tratada com betume	Camada de base recomendada para todas as classes de tráfego
Base granular tratada com cimento (resistência à compressão 7 dias= 35kg/cm ²)	Camada de base recomendada para todas as classes de tráfego
Base granular tratada com cal (resistência à compressão 7 dias= 12kg/cm ²)	Camada de base recomendada para todas as classes de tráfego
Sub-base	
Sub-base granular CBR 40%, compactação 100% Proctor Modificado	Camada de sub-base recomendada para classes de tráfego de T1 a T2
Sub-base granular CBR 60%, compactação 100% Proctor Modificado	Camada de sub-base recomendada para classes de tráfego de T1 a T2

Quadro 3.21 - Catálogo de estruturas do manual peruano para pavimentos flexíveis e para classes de tráfego T1 a T7 (adaptado de [5])

	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
S 1								
S 2								
S 3								
S 4								
S 5								

Legenda:

T0 a T7 – Classes de tráfego

S1 a S5 – Classes de fundação

(*)

Espessura e tipo de estabilização dos solos são definidos em estudo específico



Camada betuminosa (Revestimento betuminoso a quente)



Base granular



Sub-base granular

3.5. MANUAL DO DNER

O manual brasileiro “Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis” [6] foi criado em 1981 pelo Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) do Ministério dos Transportes. Neste manual, o método de dimensionamento de pavimentos flexíveis baseia-se no trabalho “*Design of Flexible Pavements Considering Mixed Loads and Traffic Volume*” [19], proveniente da experiência do Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos da América [20] e em algumas conclusões obtidas na pista experimental da AASHTO [11].

Ao contrário dos manuais de pré-dimensionamento anteriormente avaliados, o manual do DNER não propõe estruturas de pavimento de pré-dimensionamento em forma de catálogo, apresentando as espessuras das camadas de pavimento através de quadro e ábacos.

Segundo o documento DNER, os parâmetros necessários para o pré- dimensionamento de pavimentos flexíveis são:

- tráfego;
- fator climático regional;
- espessura mínima de revestimento betuminoso;
- espessura total do pavimento.

3.5.1. TRÁFEGO

O manual do DNER indica que o período de dimensionamento deva ser de apenas 10 anos para pavimentos flexíveis e semirrígidos e de 20 anos para pavimentos rígidos.

Este documento considera como solicitação de tráfego o número acumulado de eixos padrão equivalentes a 8,2 toneladas que pode ser estimado pela expressão (17).

$$N_{8,2} = V_a \times FV \times FR \quad (17)$$

em que:

$N_{8,2}$ é o número acumulado de eixos equivalentes de 8,2 t, esperados no horizonte de projeto;

V_a , o número acumulado de veículos pesados por sentido, na faixa de projeto, calculado pela expressão (18);

FV, o fator de veículo, definido na expressão (19);

FR, o fator regional, definido na seção 3.5.2.

Para o cálculo do tráfego total ao longo da vida útil de projeto, admite-se uma taxa geométrica de crescimento anual. Os fatores de equivalência para transformar eixos simples e tandem de determinada carga por eixo no eixo padrão de 8,2 toneladas estão indicados na Figura 3.2 e no Quadro 3.22.

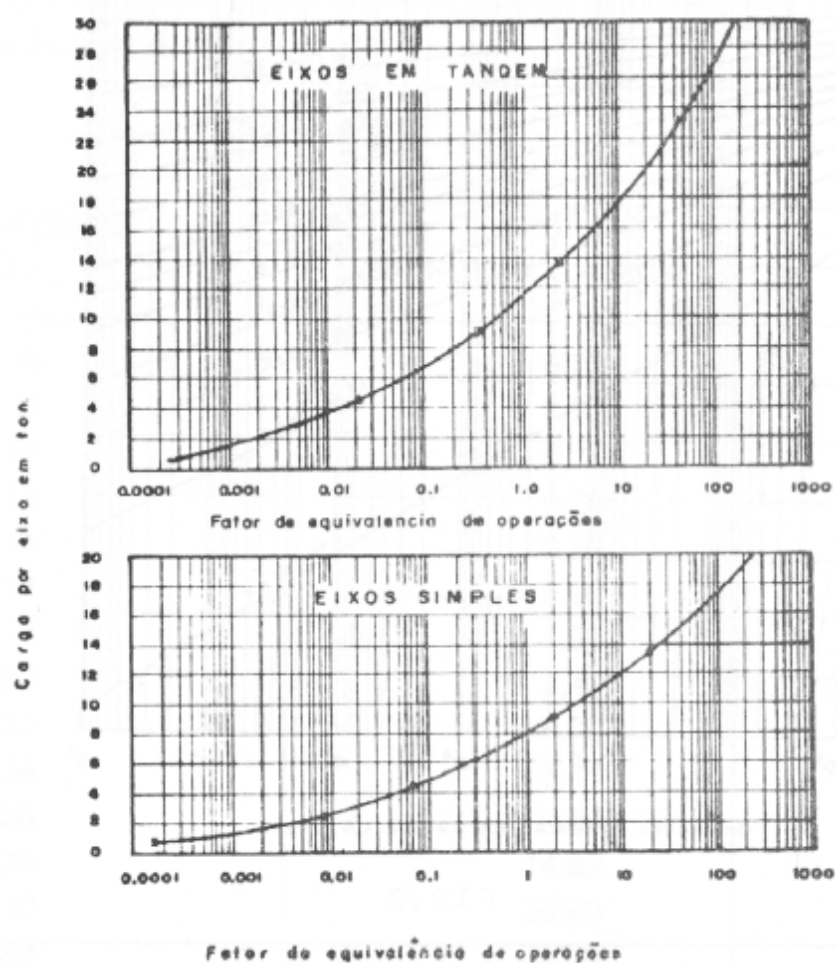


Figura 3.2 - Fator de agressividade em eixos simples e tandem para eixo padrão de 8,2 t [6]

Quadro 3.22 - Fator de agressividade em eixos tandem para eixo padrão de 8,2 t [6]

Carga por eixo (toneladas)	Fator de agressividade	Carga por eixo (toneladas)	Fator de agressividade
6	0,04	24	6,11
8	0,08	26	9,88
10	0,15	28	14,82
12	0,29	30	20,80
14	0,58	32	33,00
16	0,92	34	46,80
18	1,50	36	70,00
20	2,47	38	80,00
22	4,00	40	130,00

O parâmetro V_a , definido na expressão (17) é calculado pela expressão (18):

$$V_a = TDMA \times 365 \times Fd \times Fp \quad (18)$$

sendo:

$TDMA_{atual}$, o tráfego médio diário anual de veículos pesados, por sentido;

$V_{pesados_i}$, é a percentagem de veículos pesados na faixa de projeto (%);

Fd é o fator de distribuição direcional;

O parâmetro FV , da expressão (17) pode ser estimado pela expressão (19).

$$FV = FE \times FC \quad (19)$$

em que,

FE é o fator de eixos, que multiplicado pelo número de veículos, dá o número de eixos correspondentes;

FC é o fator de carga, número que multiplicado pelo número de eixos que operam, dá o número de eixos equivalentes ao eixo padrão.

O fator FC pode ser determinado por duas metodologias: a da Corpo de Engenheiros dos EUA [20] e a da ASSHTO [11]. Para cada uma das metodologias é necessário conhecer as várias cargas por tido de eixo que atuarão no pavimento.

3.5.2.FATOR CLIMÁTICO REGIONAL

De modo a considerar as variações de humidade dos materiais do pavimento durante as diversas estações do ano, aspeto com influência na capacidade de suporte dos materiais, o manual brasileiro sugere que o número equivalente de passagens do eixo-padrão, $N_{g,2}$, seja multiplicado por um coeficiente FR que varia de 0,2 (ocasiões em que prevaleçam baixos teores de humidade) a 5,0 (ocasiões em que os materiais estão praticamente saturados). No Brasil, considerando os resultados de pesquisas desenvolvidas pelo DNER é usual adotar FR igual a 1,0.

3.5.3.ESPESSURA MÍNIMA DE REVESTIMENTO BETUMINOSO

De modo a proteger a camada de base dos pavimentos dos esforços impostos pelo tráfego e a evitar a rutura da camada superficial do pavimento por esforços repetidos de tração e de flexão, o manual brasileiro apresenta recomendações para a espessura mínima para a camada betuminosa superficial, espessuras que se indicam no Quadro 3.23, em função do número de eixos padrão de 8,2 t espectável durante a vida útil do pavimento.

Quadro 3.23 - Espessura mínima de revestimento betuminoso [6]

$N_{8,2}$ (milhões de eixos padrão)	Espessura mínima de revestimento betuminoso
<1	Tratamentos superficiais betuminosos
1 – 5	Betão betuminoso com 5,0 cm de espessura
5 – 10	Betão betuminoso com 7,5 cm de espessura
10 – 50	Betão betuminoso com 10,0 cm de espessura
>50	Betão betuminoso com 12,5 cm de espessura

3.5.4. ESPESSURA TOTAL DO PAVIMENTO

Para a estimativa da espessura total do pavimento o manual do DNER sugere a consulta do ábaco indicado na Figura 3.3. Refira-se que este ábaco foi definido considerando-se que existe sempre drenagem superficial adequada e que o nível freático encontra-se pelo menos a 1,50 m abaixo do plano de regularização.

É de referir também que a espessura fornecida por este ábaco refere-se à espessura da camada granular. Para as restantes camadas do pavimento é necessário multiplicar a espessura, indicada no ábaco da Figura 3.3 pelo coeficiente estrutural indicado no Quadro 3.24.

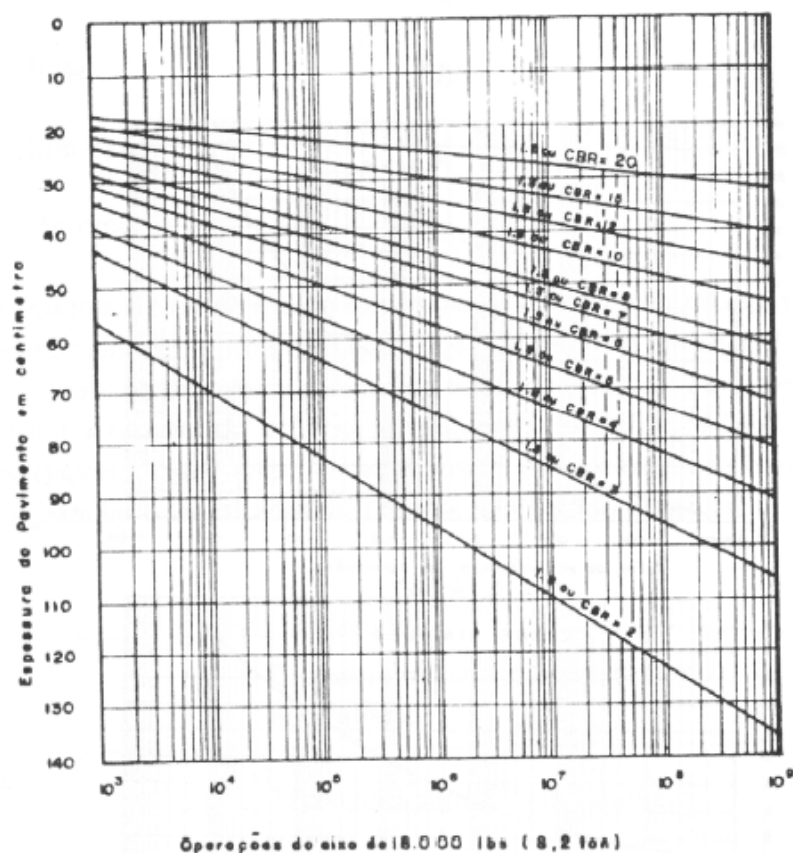


Figura 3.3 - Espessura do pavimento de acordo com o manual do DNER [6]

Quadro 3.24 - Coeficiente de equivalência estrutural [6]

Componentes do Pavimento	Coeficiente K
Base ou revestimento de betão betuminoso	2,00
Base ou revestimento pré-misturado a quente, de graduação densa	1,70
Base ou revestimento pré-misturado a frio, de graduação densa	1,40
Base ou revestimento betuminoso por penetração	1,20
Camadas Granulares	1,00
Solo-cimento com resistência a compressão a 7 dias superior a 45kg/cm ²	1,70
Solo-cimento com resistência a compressão a 7 dias entre 45 a 28kg/cm ²	1,40
Solo-cimento com resistência a compressão a 7 dias entre 28 a 21kg/cm ²	1,20
Bases de solo-cal	1,20

3.5.5. CRITÉRIOS DE RUÍNA

O manual do DNER [6] não contempla a informação dos critérios de ruína adotados para o dimensionamento das estruturas de pavimento. Existe, contudo, o documento “Projeto de Pavimentação - DER/SP” [21], criado pelo Departamento Nacional de Estradas e Rodagem para o estado de São Paulo, que fornece indicações mais detalhadas. Assim, neste documento, os critérios de ruína definidos para pavimentos flexíveis são os critérios de fadiga, cuja verificação mecanicista é feita para as deformações horizontais de tração nas fibras inferiores das camadas betuminosas, e o critério de deformação permanente, cuja verificação é feita por comparação da máxima deformação específica vertical de compressão.

Para a verificação mecanicista dos critérios de fadiga são recomendadas várias equações no manual da DER/SP [21], sendo da responsabilidade do projetista, decidir qual o modelo que traz maiores vantagens para o caso em estudo.

3.6. ANÁLISE COMPARATIVA DOS MANUAIS DA AMÉRICA LATINA

Os países da América do Sul em estudo (Colômbia, México, Peru e Brasil) apresentam, ao contrário do que acontece nos países africanos, manuais de pré-dimensionamento próprios. Esta é uma grande vantagem, visto que cada manual está adaptado às condições de tráfego, condições climáticas e condições de fundação de cada país, facilitando a conceção de pavimento de maior durabilidade e melhor comportamento estrutural para os seus utentes.

Há que referir que alguns manuais analisados têm como principal referência os documentos da *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO), como podemos observar no Quadro 3.25.

Quadro 3.25 - Principais referências dos guias de dimensionamento para pavimentos flexíveis

Manual de pré-dimensionamento	País de origem	Principal referência	Ano do manual de referência	Comentários
INVIAS [3]	Colômbia	AASHTO [11]	1993	-
SCT [4]	México	Instituto de Engenharia da UNAM [13]	1999	Para pavimentos rígidos e semirrígidos o manual do SCT baseia-se no método AASHTO 1993
Manual de Carreteras [5]	Perú	AASHTO [11]	1993	-
DNER [6]	Brasil	Corpo de Engenheiros do Exército dos EUA [20]	-	O manual do DNER considera algumas das conclusões obtidas através da pista experimental da AASHTO

De seguida, apresenta-se uma análise comparativa entre os manuais de dimensionamento de pavimentos da América do Sul.

3.6.1. TRÁFEGO

Como já vem sendo dito ao longo do trabalho, a definição da estrutura do pavimento adequado depende do volume de tráfego expectável durante todo o período de dimensionamento. No entanto, nem todos os manuais utilizam a informação do tráfego do mesmo modo. Quando as estruturas de pavimento base são representadas sob a forma de catálogo, a informação relativa ao tráfego está definida a partir de classes de tráfego. Esta situação verifica-se para os manuais da Colômbia, México e Peru como indicado no Quadro 3.26. Refere-se ainda que todos estes países consideram o eixo padrão de 8,2 toneladas.

Quadro 3.26 - Classes de tráfego nos manuais de pré-dimensionamento de pavimentos da América do Sul

INVIAS [3] (Colômbia)		SCT [4] (México)		Manual de Carreteras [5] (Perú)	
Classes de Tráfego	N _{8,2t} (milhões de eixos padrão)	Classes de Tráfego	N _{8,2t} (milhões de eixos padrão)	Classes de Tráfego	N _{8,2t} (milhões de eixos padrão)
-	-	-	-	T0	0,075 – 0,15
T1	0,5 - 1	T1	<10	T1	0,15 – 0,3
T2	1 – 2	T2	10 - 20	T2	0,3 – 0,5
T3	2 - 4	T3	20 - 40	T3	0,5 – 0,75
T4	4 - 6	T4	40 - 80	T4	0,75 – 1
T5	6 - 10	T5	>80	T5	1 – 1,5
T6	10 - 15	-	-	T6	1,5 – 3
T7	15 - 20	-	-	T7	3 – 5
T8	20 - 30	-	-	T8	5 – 7,5
T9	30 - 40	-	-	T9	7,5 – 10
-	-	-	-	T10	10 – 12,5
-	-	-	-	T11	12,5 – 15
-	-	-	-	T12	15 – 20
-	-	-	-	T13	20 – 25
-	-	-	-	T14	25 – 30
-	-	-	-	T15	>30

Observando as classes de tráfego dos diferentes manuais é possível observar que estas são muito diferentes, quer pelo número de classes de tráfego que cada manual apresenta, quer pela gama de valores apresentados em cada uma destas classes.

Para um número inferior a 10 milhões de eixos-padrão o manual mexicano considera uma classe de tráfego T1, enquanto que no *Manual de Carreteras* [5], o mesmo valor está dividido em 10 classes de tráfego diferentes, quer isto dizer que o manual peruano está mais detalhado e apresenta estruturas de pavimento melhor indicadas e melhor adaptadas para cada situação, incluindo mesmo, estradas com menos de 1 milhão de eixos-padrão para o período de dimensionamento estipulado.

No entanto, a consideração de uma gama de valores tão reduzida como a apresentada pelo manual peruano não permite atender a situações em que surja um crescimento do tráfego muito elevado, sendo mais indicado para situações em que seja previsto não haver grandes alterações do tráfego.

No caso da Colômbia, não está previsto no catálogo de estruturas de pavimentos estradas com tráfego superior a 40 milhões de eixos-padrão.

O manual brasileiro, como foi referido anteriormente, não separa este parâmetro em classes de tráfego.

3.6.2.CONDIÇÕES DE FUNDAÇÃO

Os manuais sul-americanos em estudo não abordam o parâmetro “condições de fundação” da mesma forma. Ao contrário do parâmetro do tráfego, as condições de fundação não constituem em todos os manuais, um dado de entrada direto para a escolha da estrutura de pavimento.

No manual da SCT [4], as condições de fundação são abordadas pelo conceito “aptidão” onde é atribuída uma classificação de 0 a 100 dependendo da capacidade que os materiais de fundação têm para suportar as cargas que atuam sobre estes.

No manual DNER [6], dependendo do solo de fundação e de outros parâmetros, é definido o fator climático regional, que terá influência direta no tráfego através da multiplicação deste fator com o número acumulado de eixos padrão.

Os manuais da Colômbia e do Peru definem ambas classes de fundação, dependentes do valor CBR que constituem *input* direto nos catálogos de estruturas de cada um destes manuais. No Quadro 3.27, indicam-se as classes de fundação destes manuais.

Quadro 3.27 - Classes de fundação segundo cada um dos manuais sul-americanos

INVIAS [3] (Colômbia)		Manual de Carreteras[5] (Perú)	
Classes de fundação	CBR da fundação [%]	Classes de fundação	CBR da fundação [%]
S1	3 – 5	S1	3 – 6
S2	5 - 7	S2	6 – 10
S3	7 – 10	S3	10 – 20
S4	10 – 15	S4	20 – 30
S5	>15	S5	>30

Ambos os manuais apresentam classes de fundação de S1 a S5, no entanto, com intervalos diferentes de valor CBR. O manual INVIAS [3] apresenta uma classificação até um valor de CBR de 15%, enquanto que o *Manual de Carreteras*[5] faz a distinção de classes até um valor de 30% CBR.

3.6.3.CONDIÇÕES CLIMÁTICAS

Como referido anteriormente, as condições climáticas ambientais são um fator importante no dimensionamento pois afetam as propriedades mecânicas dos materiais, condicionando os trabalhos de construção e conservação dos pavimentos, e também a segurança da circulação rodoviária. No que respeita ao dimensionamento, os fatores climáticos que mais influenciam o comportamento de pavimentos flexíveis são a temperatura e a pluviosidade. Esta afeta o estado de humidade das camadas granulares e do solo de fundação, condicionando assim o seu comportamento mecânico, enquanto que a temperatura afeta, nos pavimentos flexíveis, as propriedades mecânicas das misturas betuminosas.

Apesar de todos os manuais analisados considerarem as condições climáticas, nem todos apresentam este parâmetro da mesma forma, como se indica no Quadro 3.28.

Quadro 3.28 - Modos de avaliação das condições climáticas

Manual	Regiões Climáticas	Fator Climático	Observações
INVIAS	X	-	-
SCT	X	-	A regionalização também depende do tipo de solo de fundação.
MANUAL DE CARRETERAS	-	-	As condições climáticas não interferem diretamente no catálogo de estruturas. Servem para definir por exemplo o tipo de betume a aplicar na camada betuminosa.
DNER	-	X	O coeficiente é multiplicado pelo número acumulado de eixos-padrão. Pode variar de 0,2 para casos de baixos teores de humidade e 5,0 para ocasiões em que os materiais estejam praticamente saturados.

Os manuais da Colômbia e do México têm em conta as condições climáticas através da regionalização climática do país. Já no manual brasileiro, a informação climática é considerada através de um fator climático que afeta o valor do tráfego acumulado esperado para a vida útil do pavimento. No caso do *Manual de Carreteras* [5], a definição da estrutura do pavimento não considera as condições climáticas. Estas são tidas em conta para a escolha dos materiais como, por exemplo, o tipo de betume a utilizar.

3.6.4. QUADRO RESUMO

Nos quadros seguintes é apresentado um resumo com os dados necessários para obtenção dos parâmetros tráfego, fundação e condições climáticas.

Tráfego - Quadro 3.29

Condições de fundação - Quadro 3.30

Condições climáticas - Quadro 3.31

Quadro 3.29 - Resumo de dados necessário ao pré-dimensionamento da estrutura do pavimento - tráfego

Dados necessários	Manual de Dimensionamento			
	INVIAS – Colômbia [3]	SCT – México [4]	Manual de Carreteras [5] Peru	DNER – Brasil [6]
Período de dimensionamento (anos)	10 a 20	20	10 a 20	10
Eixos-padrão equivalentes a 8,2 toneladas	Método 1			
	$(N_o - N_c) \times \frac{(1+i)^n - 1}{i} + N_c$	$T_{\text{acumulado}} \times C_d \times F_{ca} \times F_d$	$\sum (E_{\text{dia-via}} \times F_{ca} \times 365)$	$V_a \times F_V \times F_R$
	Método 2			
	$365 \times (TDMS_i \times V_{\text{pesados}_i} \times F_c) \times C_i \times C_D$			
Classes de tráfego (milhões de eixos equivalentes)			Estradas pavimentadas	
	T1 a T9	T1 a T5	T0 a T15 (0,075 a 30)	
	(0,5 a 40)	(10 a 80)	Estradas não pavimentadas	-
			T1 a T4 (0,025 a 0,3)	

Quadro 3.30 - Resumo de dados necessário ao pré-dimensionamento da estrutura do pavimento - fundação

Dados necessários	Manual de dimensionamento			
	INVIAS – Colômbia [3]	SCT – México [4]	<i>Manual de Carreteras</i> [5] Peru	DNER – Brasil [6]
Classes de fundação, CBR [%]	S1 a S5 (3 a >15)	-	S0 a S5 (<3 a >30)	-

Quadro 3.31 - Resumo de dados necessário ao pré-dimensionamento da estrutura do pavimento - condições climáticas

Dados necessários	Manual de Dimensionamento			
	INVIAS – Colômbia [3]	SCT – México [4]	<i>Manual de Carreteras</i> – Peru [5]	DNER – Brasil [6]
Precipitação média anual (mm)	Regionalização R1 a R6 (<2000 a >4000)	-	-	Fator climático (0,2 a 5)
Precipitação pluvial máxima do dia mais chuvoso (mm)	-	Classificação da região (R1 a R5) em função de uma classificação global de 0 a 100	-	-
Temperatura média anual (°C)	Regionalização R1 a R6 (<13 a 30)	-	-	Fator climático (0,2 a 5)
Temperatura máxima e mínima anual (°C)	-	Classificação da região (R1 a R5) em função de uma classificação global de 0 a 100	-	-

4

CASO DE ESTUDO: A APLICABILIDADE DO MANUAL DO SATCC A DIFERENTES PAÍSES AFRICANOS

4.1. INTRODUÇÃO

No presente capítulo analisa-se em detalhe as estruturas de pavimento incluídas no manual da SATCC [1]. Para o estudo fez-se a escolha deste manual sul-africano em detrimento dos restantes anteriormente abordados porque a aplicação deste manual tem sido generalizada em diversos países africanos, alguns dos quais, tais como Angola e Moçambique, representam mercados de grande interesse para empresas portuguesas.

Em consequência da aplicação alargada do manual sul-africano em vários países há que referir a necessidade de perceber a aplicabilidade do catálogo de estruturas de pavimentos apresentado pelo *Code of Practice for the Design of Road Pavements*[1] da SATCC, em localizações tão distintas e com condições climáticas tão diferentes. Desta forma, no presente estudo são seleccionadas vinte e nove localizações de diferentes países (Figura 4.1), de forma a considerar um espectro de temperaturas e condições de pluviosidade alargado na verificação da aplicabilidade do manual do SATCC.



Figura 4.1 - Localizações em estudo para o dimensionamento de pavimentos flexíveis

No dimensionamento de pavimentos flexíveis, é corrente considerar-se o método empírico-mecanicista que se esquematiza Figura 4.2. Este método designa-se por empírico-mecanicistas, porque, por um lado, utilizam expressões empíricas para a caracterização mecânica dos materiais e para a definição dos critérios de ruína, e por outro, consideram o cálculo de tensão-deformação do pavimento através da mecânica.

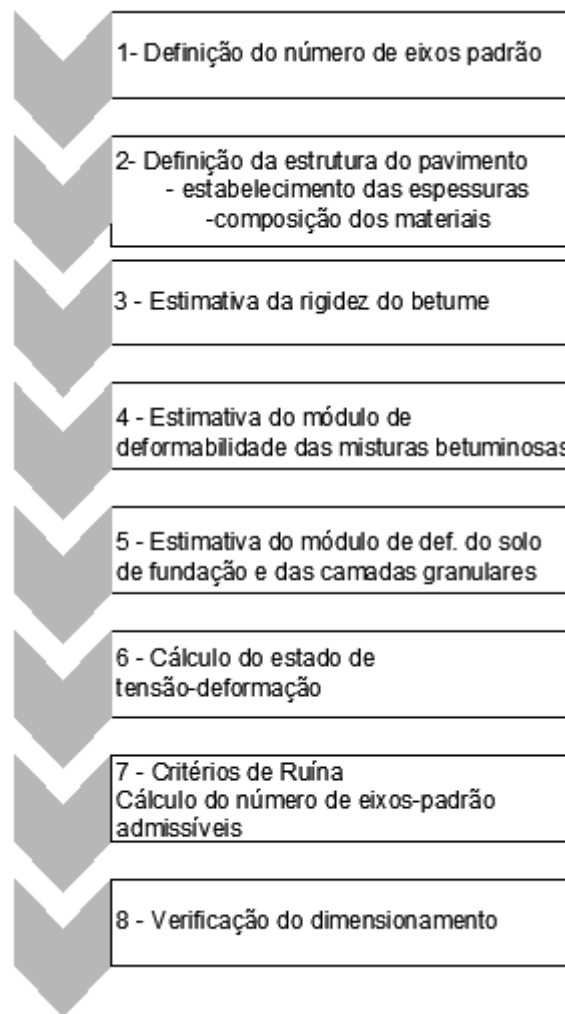


Figura 4.2 – Procedimento típico de dimensionamento empírico-mecanicista de pavimentos flexíveis

No estudo desenvolvido, para avaliar-se a resposta da estrutura de pavimento face à ação de uma carga rolante adota-se a teoria multicamada, baseada na teoria de Burmister, tendo-se utilizado o programa de cálculo BISAR, desenvolvido pela Shell.

No cálculo estrutural das diferentes estruturas de pavimento, foram considerados diferentes tipos de betume e diferentes velocidades de circulação, de modo a analisar-se vários cenários em termos de solicitação. Dado o elevado número de estruturas de pavimento indicadas no manual sul-africano, neste estudo analisou-se apenas as estruturas relativas às zonas climáticas D1 e W1 definidas para classe de fundação S4. A opção de estudar a classe de fundação S4 deve-se ao facto de ser a classe de fundação do manual sul-africano que mais se aproxima à classe de fundação F3, definida como base de referência no manual português MACOPAV [22].

Em termos de organização, este capítulo inicia-se com a definição das solicitações seguindo-se a caracterização mecânica das misturas betuminosas.

Depois apresenta-se a definição dos módulos de deformabilidade das camadas granulares e da fundação. Em seguida, apresentam-se os critérios de ruína considerados para avaliar a aplicabilidade do manual SATCC para as localizações em estudo.

E, por fim, são discutidos os resultados obtidos.

4.2. SOLICITAÇÕES

O número e a espessura de camadas constituintes do pavimento, assim como o tipo de materiais utilizados, para além de serem influenciados pelas características da fundação, dependem sobretudo das ações do tráfego e da temperatura que atuam no pavimento durante o seu período de vida.

As ações do tráfego, que resultam da aplicação das cargas dos veículos, consideram-se em dimensionamento, representadas por uma ação vertical uniforme, aplicada numa área circular, na superfície do pavimento. Em situações excecionais de dimensionamento, poderá considerar-se também uma ação tangencial aplicada no plano entre o pneu e o pavimento, correspondendo ao movimento longitudinal do veículo a situações de arranque e frenagens.

Quanto às ações climáticas, temperatura e pluviosidade, também estas têm uma influência relevante no comportamento e evolução do pavimento e consequentemente no seu dimensionamento. A temperatura do ar, a radiação solar e a velocidade do vento à superfície do pavimento condicionam em cada instante, a temperatura das camadas betuminosas, o que influencia o seu módulo de deformabilidade. O teor em água, com origem própria a partir da fundação ou proveniente do exterior pela chuva, tem interferência ao nível da resistência dos materiais. No entanto, refira-se que relativamente às camadas granulares, a ação da água pode ser minimizada com um correto sistema de drenagem.

De seguida, é descrito em detalhe a definição das ações referidas, sobretudo quanto à forma como interferem nos cálculos e na lógica de dimensionamento.

4.2.1. TRÁFEGO

Começa por referir-se que, para efeitos de dimensionamento dos pavimentos, apenas é considerado o número de veículos pesados que solicitam a estrada durante a sua vida útil, desprezando-se o efeito dos veículos ligeiros na superfície do pavimento, porque as cargas destes descarregadas por eixo são reduzidas.

O número de veículos pesados, como foi falado nos capítulos anteriores, pode ser determinado por meio de estudos de previsão de tráfego. Estes estudos incluem por exemplo, a avaliação do tráfego existente na região com interesse para a estrada em estudo e a partir daí é feita uma previsão do tráfego que a nova estrada irá captar e a sua evolução futura até ao fim da vida útil.

As cargas aplicadas no pavimento dependem do tipo de veículo e do tipo de carga, determinando assim uma grande diversidade de estados de tensão e deformação instalados no pavimento. De modo a facilitar os cálculos necessários ao estudo da ação do tráfego no dimensionamento, é usual transformar as passagens dos eixos reais dos veículos, num número equivalente de passagens de um único tipo de eixo: eixo simples de rodado duplo com carga definida, designado por eixo-padrão, como referido nos capítulos 2 e 3.

Na Figura 4.3, apresenta-se um esquema que representa a ação de um eixo padrão sobre o pavimento.

Para o caso em estudo adota-se o eixo-padrão de 80 kN considerado pelo manual SATCC [1]. Tendo em conta a definição deste eixo, cada roda descarrega 20 kN e os valores de L e r são idênticos e iguais a 105 mm.

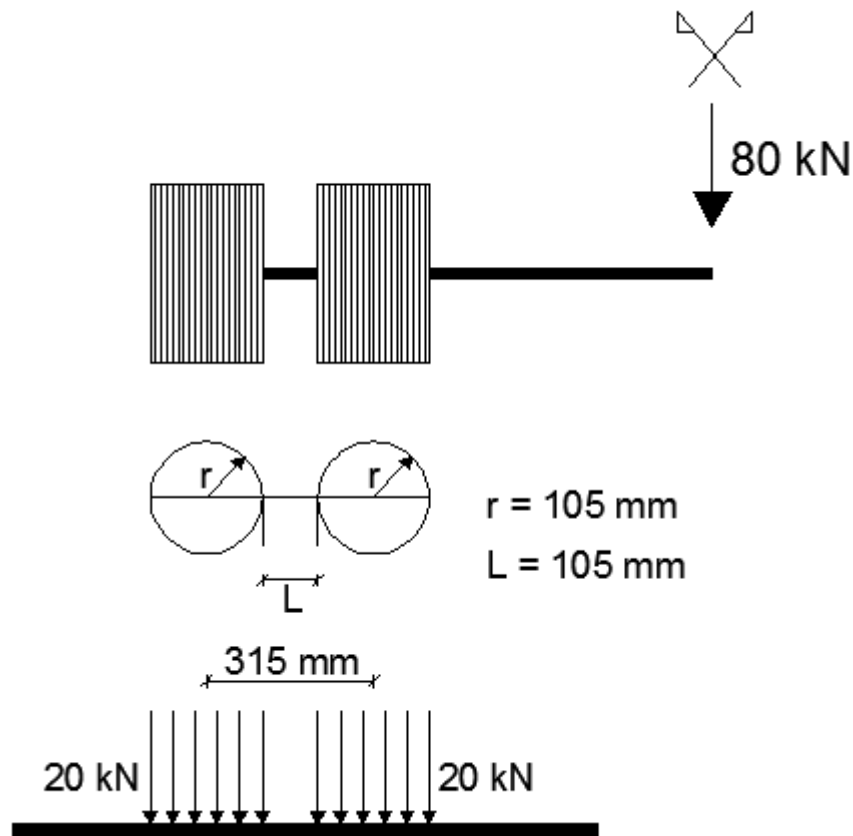


Figura 4.3 - Esquema adotado para a ação de um eixo padrão sobre o pavimento

4.2.2.CONDIÇÕES CLIMATÉRICAS

Por forma a reconhecer a aplicabilidade do manual da SATCC [1] em diferentes países africanos, foram seleccionadas vinte e nove localizações com condições climáticas distintas.

No Quadro 4.1, são apresentadas essas localizações com indicação do tipo de regiões climáticas e da precipitação média anual. Lembra-se que segundo o manual da SATCC [1], uma região considerada predominantemente seca (*Dry*) apresenta uma precipitação anual inferior a 250 mm.

Quadro 4.1 - Tipo de região climática para as várias localizações em estudo [23]

Países	Localização	Precipitação média anual (mm)	Tipo de região climática
Angola	Luanda	320	Húmida
	M'Banza Congo	1200	Húmida
	Lucapa	1500	Húmida
	Namibe	60	Seca
África do Sul	Cape Town	580	Húmida
	Pretoria	700	Húmida
	Bhisho	650	Húmida
Botswana	Gaborone	520	Húmida
	Kasane	570	Húmida
	Francistown	450	Húmida
Namíbia	Windhoek	360	Húmida
	Rundu	600	Húmida
	Mariental	190	Seca
Zâmbia	Lusaka	900	Húmida
	Solwezi	1300	Húmida
	Mongu	960	Húmida
Zimbabué	Harare	840	Húmida
	Gwanda	470	Húmida
	Hwange	560	Húmida
Moçambique	Maputo	770	Húmida
	Lichinga	1200	Húmida
	Tete	510	Húmida
Malawi	Karonga	1120	Húmida
	Dedza	1080	Húmida
	Chikwawa	790	Húmida
Tanzânia	Dodoma	560	Húmida
	Mbeya	850	Húmida
	Kigoma	920	Húmida
	Lindi	950	Húmida

O procedimento mais usual para ter em conta a ação da temperatura para efeitos de dimensionamento é estabelecer a “temperatura de serviço”, considerando uma “temperatura de serviço equivalente anual”.

Para estimar a temperatura de serviço tem-se em conta o procedimento empírico indicado no manual da Shell [12], que consiste nas seguintes fases:

- determinação da temperatura média anual ponderada do ar;
- determinação da temperatura de serviço em função da espessura da camada e da temperatura média anual ponderada do ar.

De seguida é indicado como obter estas temperaturas seguindo o método empírico indicado pela Shell [12].

4.2.2.1. Determinação da temperatura média anual ponderada do ar

Para a determinação da temperatura média anual ponderada do ar, é necessário fazer inicialmente uma recolha das temperaturas médias mensais do ar para cada uma das várias localizações em estudo.

Após esta recolha de dados, é necessário definir-se os fatores de ponderação “W” de génese probabilística, para cada temperatura média mensal através do nomograma de *Van der Poel*, presente no manual da Shell [12] e que se encontra representado na Figura 4.4.

Obtidos os fatores de ponderação para cada temperatura mensal, determina-se a média simples destes fatores e, com recurso, ao mesmo ábaco, mas com aplicação no sentido inverso, determina-se a temperatura média anual ponderada do ar.

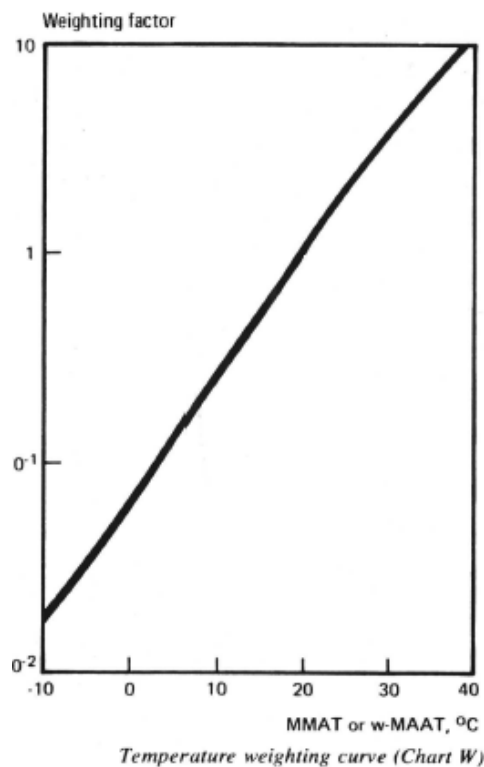


Figura 4.4 - Nomograma de *Van der Poel* (para determinação da temperatura média anual ponderada do ar)

No Quadro 4.2, apresentam-se os resultados obtidos da temperatura anual ponderada para as várias localidades em estudo.

Quadro 4.2 - Temperatura anual ponderada das várias localidades em estudo

País	Localização	Tipo de região climática	Temperatura anual ponderada (°C)
Angola	Luanda	Húmida	23,90
	M'Banza Congo	Húmida	23,75
	Lucapa	Húmida	23,35
	Namibe	Seca	20,25
África do Sul	Cape Town	Húmida	17,65
	Pretoria	Húmida	19,45
	Bhisho	Húmida	18,65
Botswana	Gaborone	Húmida	21,40
	Kasane	Húmida	23,90
	Francistown	Húmida	21,60
Namíbia	Windhoek	Húmida	20,55
	Rundu	Húmida	23,15
	Mariental	Seca	22,40
Zâmbia	Lusaka	Húmida	20,70
	Solwezi	Húmida	20,00
	Mongu	Húmida	23,70
Zimbabué	Harare	Húmida	19,75
	Gwanda	Húmida	20,35
	Hwange	Húmida	20,80
Moçambique	Maputo	Húmida	24,00
	Lichinga	Húmida	19,25
	Tete	Húmida	26,00
Malawi	Karonga	Húmida	23,80
	Dedza	Húmida	19,00
	Chikwawa	Húmida	26,20
Tanzânia	Dodoma	Húmida	21,60
	Mbeya	Húmida	17,10
	Kigoma	Húmida	22,90
	Lindi	Húmida	25,70

No ANEXO I, estão indicadas as temperaturas médias mensais e o fator de ponderação W determinado através do ábaco de *Van der Poel*, necessários para o cálculo da temperatura anual ponderada, para cada localidade.

4.2.2.2. Determinação da temperatura de serviço

Com a utilização da temperatura de serviço equivalente anual (ou de um conjunto de temperaturas de serviço equivalentes mensais), pretende-se que o comportamento das misturas betuminosas a essa temperatura seja equivalente ao comportamento do pavimento ao longo de um ciclo anual de temperatura constante. Esta temperatura pretende ainda considerar a variação da temperatura ao longo da espessura do pavimento.

Para definir-se a temperatura de serviço pode utilizar-se o ábaco de *Van der Poel* indicado na Figura 4.5. A temperatura de serviço depende da espessura da camada e da temperatura anual ponderada do ar, como se pode observar no ábaco indicado.

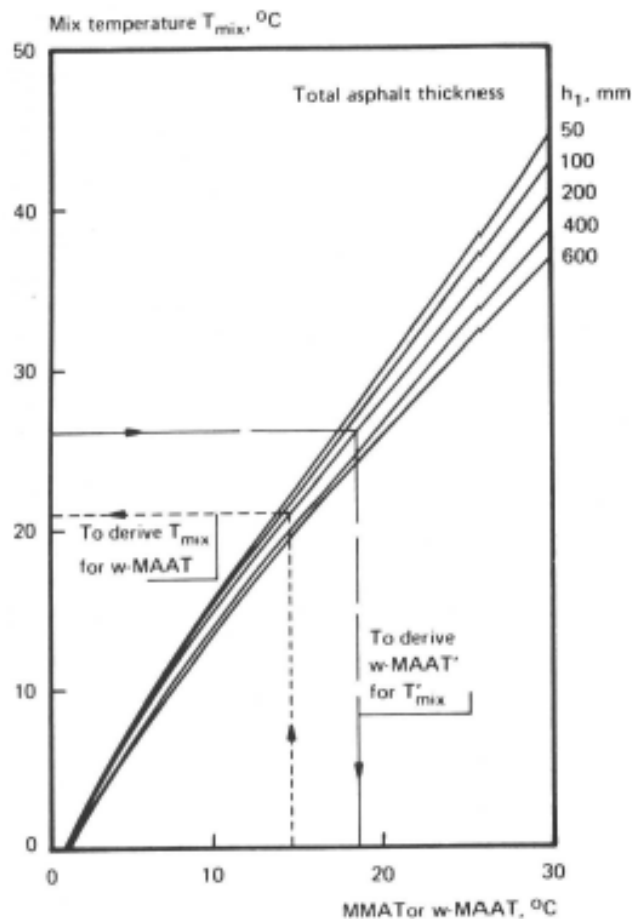


Figura 4.5 - Temperatura de serviço das camadas betuminosas

No Quadro 4.3, indicam-se as temperaturas de serviço para diferentes espessuras da camada betuminosa e para as várias localizações em estudo, tendo-se em conta a temperatura anual ponderada representada no Quadro 4.2.

Quadro 4.3 - Temperatura de serviço para as várias localizações e espessuras de camada betuminosa

Países	Localização	Temperatura anual ponderada (°C)	Temperatura de serviço (°C)			
			Espessura camada betuminosa (mm)			
			50	100	125	150
Angola	Luanda	23,90	35	34	34	34
	M'Banza Congo	23,75	35	34	34	33
	Lucapa	23,35	34	33	33	33
	Namibe	20,25	30	29	29	29
África do Sul	Cape Town	17,65	27	26	26	25
	Pretoria	19,45	29	28	28	28
	Bhisho	18,65	27	27	27	27
Botswana	Gaborone	21,40	32	31	31	30
	Kasane	23,90	35	34	34	34
	Francistown	21,60	32	31	31	30
Namíbia	Windhoek	20,55	30	29	29	29
	Rundu	23,15	34	33	33	33
	Mariental	22,40	33	32	32	32
Zâmbia	Lusaka	20,70	31	30	30	29
	Solwezi	20,00	30	29	29	29
	Mongu	23,70	35	34	34	33
Zimbabué	Harare	19,75	29	29	29	28
	Gwanda	20,35	30	29	29	29
	Hwange	20,80	31	30	30	29
Moçambique	Maputo	24,00	35	34	34	34
	Lichinga	19,25	29	29	29	28
	Tete	26,00	39	37	37	36
Malawi	Karonga	23,80	35	34	34	33
	Dedza	19,00	29	28	28	27
	Chikwawa	26,20	39	37	37	37
Tanzânia	Dodoma	21,60	32	31	31	31
	Mbeya	17,10	26	25	25	25
	Kigoma	22,90	34	33	33	32
	Lindi	25,70	38	37	37	36

4.3 CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DAS MISTURAS BETUMINOSAS

O estudo do comportamento mecânico das misturas betuminosas assume particular importância no dimensionamento de pavimentos flexíveis pois é nesta camada que a temperatura do ar, a radiação solar e a velocidade do vento à superfície determinam em cada instante a temperatura das camadas betuminosas, o que condiciona o seu módulo de deformabilidade.

O módulo de deformabilidade é também diretamente dependente do tipo de mistura betuminosa utilizada, o tipo de betume adotado e da velocidade a que os veículos pesados circulam na via que se está a dimensionar.

Em geral, é aceite que as misturas betuminosas apenas exibem comportamento próximo do elástico linear para temperaturas abaixo dos 15 °C. No entanto, o comportamento elástico linear dos materiais, devido à sua simplicidade e facilidade de utilização na análise de tensões e deformações, é correntemente adotado no dimensionamento de pavimentos flexíveis para toda a gama de temperaturas de serviço.

Assim, considerando o comportamento elástico linear na análise estrutural de pavimentos flexíveis, cada um dos materiais (misturas betuminosas e materiais não ligados) é caracterizado pelo módulo de deformabilidade e pelo coeficiente de *Poisson*.

Desta feita, é agora necessário conhecer o módulo de deformabilidade, das misturas betuminosas, para as diferentes localidades selecionadas (que apresentam diferentes temperaturas de serviço). Optou-se por considerar a possível utilização de três tipos de betume: 40/50, 60/70 e 80/100, apesar de o betume 60/70 não se encontrar de acordo a norma europeia em vigor, EN 12591 [24], sendo que esta escolha se baseia num estudo feito pela construtora Mota-Engil [25], para os países de Angola, Malawi e Moçambique onde também são considerados os mesmos tipos de betume. No estudo descrito nesta tese é consideram-se ainda duas velocidades de circulação: 20 e 50 km/h.

4.3.1 RIGIDEZ DO BETUME

Para definir-se a rigidez (S_b) dos betumes considerados, recorre-se ao nomograma de Van der Poel presente na Figura 4.6.

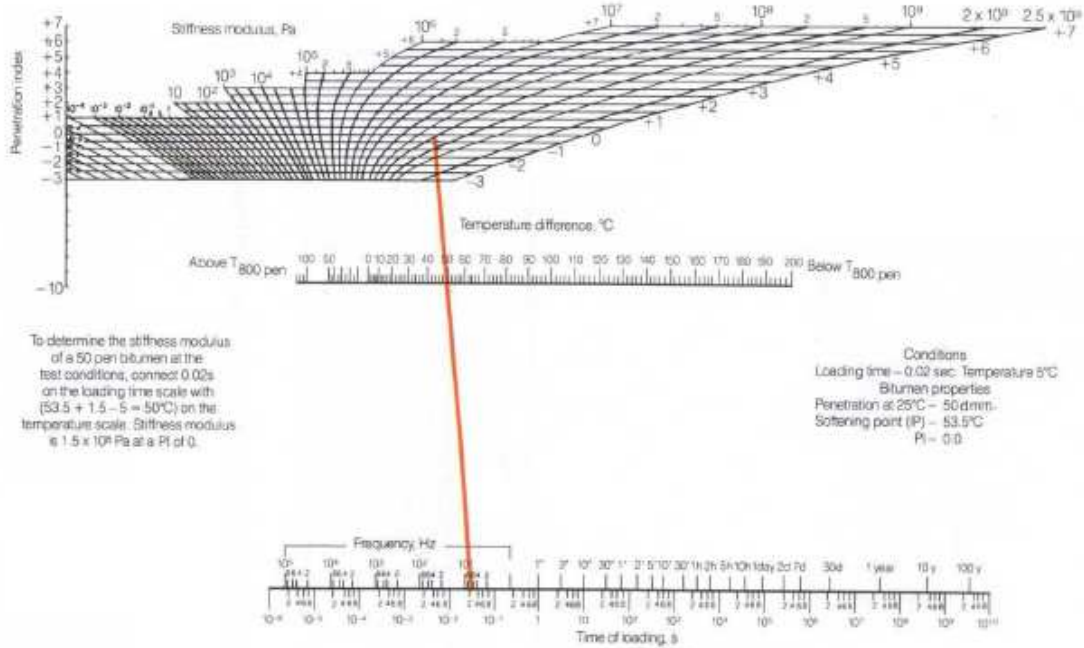


Figura 4.6 - Nomograma de Van der Poel para a determinação da rigidez do betume

No entanto, dado não ser possível ler o valor da rigidez do betume no nomograma de Van der Poel, com o rigor que, por vezes é exigido, e, para automatizar os procedimentos de cálculo, há expressões, baseadas naquele ábaco e em ensaios empíricos, para determinar a rigidez do betume. No presente trabalho a fórmula utilizada para calcular a rigidez do betume (S_b) é a fórmula de Ullitdz e Peattie [26] a seguir apresentada.

$$S_b \text{ (Mpa)} = (1,157 \times 10^{-7}) (t_c^{-0,368}) (2,718^{-I_{penr}}) (Tab_r - T)^5 \quad (19)$$

em que,

t_c , é o tempo de carregamento, em segundos;

I_{penr} , é o índice de penetração do betume em situação de serviço (calculado pela expressão 20) proposta por Pfeiffer e Van Dormal;

Tab_r , é a temperatura de amolecimento do betume pelo método do anel e bola, em °C (calculado pela expressão 21);

T , é a temperatura de serviço do material, em °C (calculada na seção anterior).

$$I_{penr} = \frac{27 \times \log (\text{pen}25) - 21,65}{76,35 \times \log (\text{pen}25) - 232,82} \quad (20)$$

onde, pen25 é a penetração do betume a 25 °C, em dmm.

$$Tab_r = 99,13 - 26,35 \times \log (\text{pen}25_r) \quad (21)$$

onde, pen_{25} é a penetração do betume a 25 °C, em dmm

$$pen_{25_r} = 0,65 \times pen_{25} \quad (22)$$

Nos quadros 4.4 a 4.6 encontram-se os resultados dos módulos de rigidez estimados para os betumes 40/50, 60/70 e 80/100 e para as velocidades de 20 e 50 km/h para as várias localizações em análise e para as espessuras de camada betuminosa: 50 mm, 100 mm, 125 mm e 150mm.

É de referir os valores baixos dos módulos de rigidez obtidos, devido às elevadas temperaturas destes países africanos.

Quadro 4.4 - Módulos de rigidez do betume para uma camada betuminosa de 50 mm de espessura

Países	Localização	Módulo de Rigidez (MPa) - S_b					
		20 km/h			50 km/h		
		40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
Angola	Luanda	2,55	1,10	0,45	3,55	1,55	0,65
	M'Banza Congo	2,55	1,10	0,45	3,55	1,55	0,65
	Lucapa	3,10	1,40	0,60	4,35	1,95	0,85
	Namibe	6,25	3,20	1,60	8,80	4,50	2,25
África do Sul	Cape Town	10,05	5,50	3,00	14,05	7,70	4,25
	Pretoria	7,35	3,85	2,00	10,35	5,40	2,80
	Bhisho	10,05	5,50	3,00	14,05	7,70	4,25
Botswana	Gaborone	4,45	2,15	1,00	6,25	3,00	1,40
	Kasane	2,55	1,10	0,45	3,55	1,55	0,65
	Francistown	4,45	2,15	1,00	6,25	3,00	1,40
Namíbia	Windhoek	6,25	3,20	1,60	8,80	4,50	2,25
	Rundu	3,10	1,40	0,60	4,35	1,95	0,85
	Mariental	3,70	1,75	0,75	5,25	2,45	1,10
Zâmbia	Lusaka	5,30	2,65	1,30	7,45	3,70	1,80
	Solwezi	6,25	3,20	1,60	8,80	4,50	2,25
	Mongu	2,55	1,10	0,45	3,55	1,55	0,65
Zimbabué	Harare	7,35	3,85	2,00	10,35	5,40	2,80
	Gwanda	6,25	3,20	1,60	8,80	4,50	2,25
	Hwange	5,30	2,65	1,30	7,45	3,70	1,80
Moçambique	Maputo	2,55	1,10	0,45	3,55	1,55	0,65
	Lichinga	7,35	3,85	2,00	10,35	5,40	2,80
	Tete	1,05	0,35	0,10	1,50	0,55	0,15
Malawi	Karonga	2,55	1,10	0,45	3,55	1,55	0,65
	Dedza	7,35	3,85	2,00	10,35	5,40	2,80
	Chikwawa	1,05	0,35	0,10	1,50	0,55	0,15
Tanzânia	Dodoma	4,45	2,15	1,00	6,25	3,00	1,40
	Mbeya	11,60	6,50	3,65	16,30	9,15	5,15
	Kigoma	3,10	1,40	0,60	4,35	1,95	0,85
	Lindi	1,35	0,50	0,15	1,90	0,70	0,25

Quadro 4.5 - Módulos de rigidez do betume para uma camada betuminosa de 100 e 125 mm de espessura

Países	Localização	Módulo de Rigidez (MPa) - S_b					
		20 km/h			50 km/h		
		40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
Angola	Luanda	3,10	1,40	0,60	4,35	1,95	0,85
	M'Banza Congo	3,10	1,40	0,60	4,35	1,95	0,85
	Lucapa	3,70	1,75	0,75	5,25	2,45	1,10
	Namibe	7,35	3,85	2,00	10,35	5,40	2,80
África do Sul	Cape Town	11,60	6,50	3,65	16,30	9,15	5,15
	Pretoria	8,60	4,60	2,45	12,10	6,50	3,45
	Bhisho	10,05	5,50	3,00	14,05	7,70	4,25
Botswana	Gaborone	5,30	2,65	1,30	7,45	3,70	1,80
	Kasane	3,10	1,40	0,60	4,35	1,95	0,85
	Francistown	5,30	2,65	1,30	7,45	3,70	1,80
Namíbia	Windhoek	7,35	3,85	2,00	10,35	5,40	2,80
	Rundu	3,70	1,75	0,75	5,25	2,45	1,10
	Mariental	4,45	2,15	1,00	6,25	3,00	1,40
Zâmbia	Lusaka	6,25	3,20	1,60	8,80	4,50	2,25
	Solwezi	7,35	3,85	2,00	10,35	5,40	2,80
	Mongu	3,10	1,40	0,60	4,35	1,95	0,85
Zimbabué	Harare	7,35	3,85	2,00	10,35	5,40	2,80
	Gwanda	7,35	3,85	2,00	10,35	5,40	2,80
	Hwange	6,25	3,20	1,60	8,80	4,50	2,25
Moçambique	Maputo	3,10	1,40	0,60	4,35	1,95	0,85
	Lichinga	7,35	3,85	2,00	10,35	5,40	2,80
	Tete	1,70	0,65	0,25	2,35	0,95	0,35
Malawi	Karonga	3,10	1,40	0,60	4,35	1,95	0,85
	Dedza	8,60	4,60	2,45	12,10	6,50	3,45
	Chikwawa	1,70	0,65	0,25	2,35	0,95	0,35
Tanzânia	Dodoma	5,30	2,65	1,30	7,45	3,70	1,80
	Mbeya	13,40	7,65	4,40	18,80	10,75	6,20
	Kigoma	3,70	1,75	0,75	5,25	2,45	1,10
	Lindi	1,70	0,65	0,25	2,35	0,95	0,35

Quadro 4.6 - Módulos de rigidez do betume para uma camada betuminosa de 150 mm de espessura

Países	Localização	Módulo de Rigidez (MPa) - S_b					
		20 km/h			50 km/h		
		40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
Angola	Luanda	3,10	1,40	0,60	4,35	1,95	0,85
	M'Banza Congo	3,70	1,75	0,75	5,25	2,45	1,10
	Lucapa	3,70	1,75	0,75	5,25	2,45	1,10
	Namibe	7,35	3,85	2,00	10,35	5,40	2,80
África do Sul	Cape Town	13,40	7,65	4,40	18,80	10,75	6,20
	Pretoria	8,60	4,60	2,45	12,10	6,50	3,45
	Bhisho	10,05	5,50	3,00	14,05	7,70	4,25
Botswana	Gaborone	6,25	3,20	1,60	8,80	4,50	2,25
	Kasane	3,10	1,40	0,60	4,35	1,95	0,85
	Francistown	6,25	3,20	1,60	8,80	4,50	2,25
Namíbia	Windhoek	7,35	3,85	2,00	10,35	5,40	2,80
	Rundu	3,70	1,75	0,75	5,25	2,45	1,10
	Mariental	4,45	2,15	1,00	6,25	3,00	1,40
Zâmbia	Lusaka	7,35	3,85	2,00	10,35	5,40	2,80
	Solwezi	7,35	3,85	2,00	10,35	5,40	2,80
	Mongu	3,70	1,75	0,75	5,25	2,45	1,10
Zimbabué	Harare	8,60	4,60	2,45	12,10	6,50	3,45
	Gwanda	7,35	3,85	2,00	10,35	5,40	2,80
	Hwange	7,35	3,85	2,00	10,35	5,40	2,80
Moçambique	Maputo	3,10	1,40	0,60	4,35	1,95	0,85
	Lichinga	8,60	4,60	2,45	12,10	6,50	3,45
	Tete	2,10	0,85	0,30	2,90	1,20	0,45
Malawi	Karonga	3,70	1,75	0,75	5,25	2,45	1,10
	Dedza	10,05	5,50	3,00	14,05	7,70	4,25
	Chikwawa	1,70	0,65	0,25	2,35	0,95	0,35
Tanzânia	Dodoma	5,30	2,65	1,30	7,45	3,70	1,80
	Mbeya	13,40	7,65	4,40	18,80	10,75	6,20
	Kigoma	4,45	2,15	1,00	6,25	3,00	1,40
	Lindi	2,10	0,85	0,30	2,90	1,20	0,45

4.3.2 MÓDULO DE DEFORMABILIDADE DAS MISTURAS BETUMINOSAS

Neste presente trabalho os módulos de deformabilidade das misturas betuminosas foram calculados por dois métodos: o da Shell e o da Universidade de Nottingham.

4.3.2.1 Método da Shell

O método empírico-mecanicista da Shell [12] propõe o nomograma representado na Figura 4.7, no qual o módulo de deformabilidade (E_m) é determinado com base na rigidez do betume (S_b) e nas percentagens volumétricas de betume (V_b) e de agregado (V_a).

Deve referir-se que a aplicação deste ábaco só é permitida para valores de módulo de rigidez do betume (S_b) superiores a 5 MPa, pois nesta situação, os materiais têm um comportamento não linear e, por isso, o seu módulo deveria ser previsto de forma experimental com recurso a ensaios próprios. Contudo, para efeitos deste estudo, é aplicado este método mesmo em casos em que a rigidez é inferior a 5 MPa.

E, em alternativa ao uso do ábaco, o módulo de deformabilidade pode ser estimado utilizando a expressão (23):

$$\log (E_m) = \frac{M+N}{2} \times (\log S_b - 8) + \frac{M-N}{2} \times |S_b - 8| + B \quad (23)$$

sendo,

$$B = 8 + 10^{-3}(5,68 V_a + 0,2135 V_a^2) \quad (24)$$

e,

$$A = 10,82 - 1,342 \times \frac{100 - V_a}{V_a + V_b} \quad (25)$$

e,

$$M = \frac{1,12 (A - B)}{\log (30)} \quad (26)$$

e,

$$N = 0,6 \times \left[\frac{1,37 V_b^2 - 1}{1,33 V_b - 1} \right] \quad (27)$$

onde,

E_m é módulo de deformabilidade das misturas betuminosas, em Pa
 V_a , a percentagem volumétrica de agregado na mistura betuminosa
 V_b , a percentagem volumétrica de betume na mistura betuminosa;
 S_b , a rigidez do betume, em Pa.

em que,

$$V_a = 84 \%$$

$$V_b = 12 \%$$

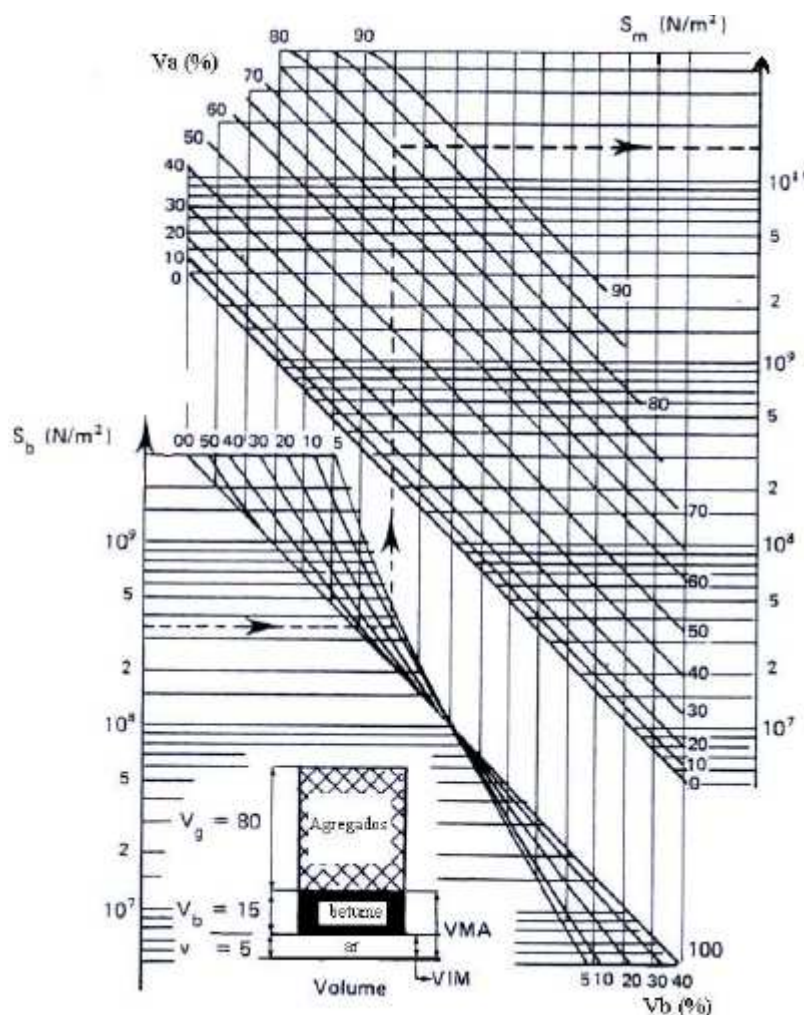


Figura 4.7 - Nomograma para a previsão do módulo de deformabilidade das misturas betuminosas (Shell)

Nos quadros Quadro 4.7, Quadro 4.8 e Quadro 4.9, encontram-se os resultados do módulo de deformabilidade das misturas betuminosas (E_m), calculados pela expressão (23) do método da Shell [12], para os vários tipos de betumes e velocidades consideradas, para as várias localizações em estudo para espessuras de camada betuminosa de 50 mm, 100mm, 125mm e 150mm. Os valores apresentados encontram-se arredondados à centena e por defeito.

Quadro 4.7 – Módulos de deformabilidade para uma camada betuminosa de 50 mm (Shell)

Países	Localização	Módulo de deformabilidade (MPa) - E_m					
		20 km/h			50 km/h		
		40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
Angola	Luanda	800	400	200	1000	500	300
	M'Banza Congo	800	400	200	1000	500	300
	Lucapa	900	500	300	1100	600	300
	Namibe	1500	900	600	1800	1200	700
África do Sul	Cape Town	2000	1300	900	2500	1700	1100
	Pretoria	1600	1000	700	2100	1300	800
	Bhisho	2000	1300	900	2500	1700	1100
Botswana	Gaborone	1100	700	400	1500	900	500
	Kasane	800	400	200	1000	500	300
	Francistown	1100	700	400	1500	900	500
Namíbia	Windhoek	1500	900	600	1800	1200	700
	Rundu	900	500	300	1100	600	300
	Mariental	1000	600	300	1300	800	400
Zâmbia	Lusaka	1300	800	500	1600	1000	600
	Solwezi	1500	900	600	1800	1200	700
	Mongu	800	400	200	1000	500	300
Zimbabué	Harare	1600	1000	700	2100	1300	800
	Gwanda	1500	900	600	1800	1200	700
	Hwange	1300	800	500	1600	1000	600
Moçambique	Maputo	800	400	200	1000	500	300
	Lichinga	1600	1000	700	2100	1300	800
	Tete	400	200	100	500	200	100
Malawi	Karonga	800	400	200	1000	500	300
	Dedza	1600	1000	700	2100	1300	800
	Chikwawa	400	200	100	500	200	100
Tanzânia	Dodoma	1100	700	400	1500	900	500
	Mbeya	2200	1500	1000	2800	1900	1300
	Kigoma	900	500	300	1100	600	300
	Lindi	500	200	100	600	300	100

Quadro 4.8 - Módulos de deformabilidade para uma camada betuminosa de 100 e 125 mm (Shell)

Países	Localização	Módulo de deformabilidade (MPa) - E_m					
		20 km/h			50 km/h		
		40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
Angola	Luanda	900	500	300	1100	600	300
	M'Banza Congo	900	500	300	1100	600	300
	Lucapa	1000	600	300	1300	800	400
	Namibe	1600	1000	700	2100	1300	800
África do Sul	Cape Town	2200	1500	1000	2800	1900	1300
	Pretoria	1800	1200	800	2300	1500	1000
	Bhisho	2000	1300	900	2500	1700	1100
Botswana	Gaborone	1300	800	500	1600	1000	600
	Kasane	900	500	300	1100	600	300
	Francistown	1300	800	500	1600	1000	600
Namíbia	Windhoek	1600	1000	700	2100	1300	800
	Rundu	1000	600	300	1300	800	400
	Mariental	1100	700	400	1500	900	500
Zâmbia	Lusaka	1500	900	600	1800	1200	700
	Solwezi	1600	1000	700	2100	1300	800
	Mongu	900	500	300	1100	600	300
Zimbabuê	Harare	1600	1000	700	2100	1300	800
	Gwanda	1600	1000	700	2100	1300	800
	Hwange	1500	900	600	1800	1200	700
Moçambique	Maputo	900	500	300	1100	600	300
	Lichinga	1600	1000	700	2100	1300	800
	Tete	600	300	100	700	400	200
Malawi	Karonga	900	500	300	1100	600	300
	Dedza	1800	1200	800	2300	1500	1000
	Chikwawa	600	300	100	700	400	200
Tanzânia	Dodoma	1300	800	500	1600	1000	600
	Mbeya	2500	1700	1100	3100	2100	1400
	Kigoma	1000	600	300	1300	800	400
	Lindi	600	300	100	700	400	200

Quadro 4.9 - Módulos de deformabilidade para uma camada betuminosa de 150 mm (Shell)

Países	Localização	Módulo de deformabilidade (MPa) - E_m					
		20 km/h			50 km/h		
		40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
Angola	Luanda	900	500	300	1100	600	300
	M'Banza Congo	1000	600	300	1300	800	400
	Lucapa	1000	600	300	1300	800	400
	Namibe	1600	1000	700	2100	1300	800
África do Sul	Cape Town	2500	1700	1100	3100	2100	1400
	Pretoria	1800	1200	800	2300	1500	1000
	Bhisho	2000	1300	900	2500	1700	1100
Botswana	Gaborone	1500	900	600	1800	1200	700
	Kasane	900	500	300	1100	600	300
	Francistown	1500	900	600	1800	1200	700
Namíbia	Windhoek	1600	1000	700	2100	1300	800
	Rundu	1000	600	300	1300	800	400
	Mariental	1100	700	400	1500	900	500
Zâmbia	Lusaka	1600	1000	700	2100	1300	800
	Solwezi	1600	1000	700	2100	1300	800
	Mongu	1000	600	300	1300	800	400
Zimbabué	Harare	1800	1200	800	2300	1500	1000
	Gwanda	1600	1000	700	2100	1300	800
	Hwange	1600	1000	700	2100	1300	800
Moçambique	Maputo	900	500	300	1100	600	300
	Lichinga	1800	1200	800	2300	1500	1000
	Tete	700	400	200	900	500	200
Malawi	Karonga	1000	600	300	1300	800	400
	Dedza	2000	1300	900	2500	1700	1100
	Chikwawa	600	300	100	700	400	200
Tanzânia	Dodoma	1300	800	500	1600	1000	600
	Mbeya	2500	1700	1100	3100	2100	1400
	Kigoma	1100	700	400	1500	900	500
	Lindi	700	400	200	900	500	200

4.3.2.2 Método de Nottingham

O método da Universidade de Nottingham, apresenta a expressão (27) para o cálculo do módulo de deformabilidade de misturas betuminosas:

$$E_m = \left[1 + \frac{257,5 + 2,5 \text{ VMA}}{n (\text{VMA} - 3)} \right] \quad (28)$$

sendo,

$$n = 0,83 \times \log \left(\frac{4 \times 10^4}{S_b} \right) \quad (29)$$

onde,

E_m , é o módulo de rigidez do betume, em MPa;

S_b , a rigidez do betume, em MPa;

VMA, vazios na mistura de agregados no estado compactado [%].

À semelhança do método da Shell, este método é aplicável quando a rigidez do betume é superior a 5 MPa, no entanto o cálculo é feito mesmo para valores inferiores a este.

Nos quadros Quadro 4.10, Quadro 4.11e Quadro 4.12 encontram-se os resultados do módulo de deformabilidade das camadas betuminosas obtidos pelo método de Nottingham, para as espessuras de 50 mm, 100mm, 125mm e 150mm, respetivamente, arredondados à centena por defeito.

Quadro 4.10 - Módulos de deformabilidade para uma camada betuminosa de 50 mm (Nottingham)

Países	Localização	Módulo de deformabilidade (MPa) - E_m					
		20 km/h			50 km/h		
		40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
Angola	Luanda	1100	600	300	1400	800	400
	M'Banza Congo	1100	600	300	1400	800	400
	Lucapa	1300	700	400	1600	900	500
	Namibe	2000	1300	800	2500	1600	1000
África do Sul	Cape Town	2800	1900	1300	3400	2300	1600
	Pretoria	2300	1500	900	2800	1900	1200
	Bhisho	2800	1900	1300	3400	2300	1600
Botswana	Gaborone	1600	1000	600	2000	1300	700
	Kasane	1100	600	300	1400	800	400
	Francistown	1600	1000	600	2000	1300	700
Namíbia	Windhoek	2000	1300	800	2500	1600	1000
	Rundu	1300	700	400	1600	900	500
	Mariental	1500	900	500	1800	1100	600
Zâmbia	Lusaka	1800	1100	700	2300	1400	900
	Solwezi	2000	1300	800	2500	1600	1000
	Mongu	1100	600	300	1400	800	400
Zimbabué	Harare	2300	1500	900	2800	1900	1200
	Gwanda	2000	1300	800	2500	1600	1000
	Hwange	1800	1100	700	2300	1400	900
Moçambique	Maputo	1100	600	300	1400	800	400
	Lichinga	2300	1500	900	2800	1900	1200
	Tete	600	300	100	800	400	100
Malawi	Karonga	1100	600	300	1400	800	400
	Dedza	2300	1500	900	2800	1900	1200
	Chikwawa	600	300	100	800	400	100
Tanzânia	Dodoma	1600	1000	600	2000	1300	700
	Mbeya	3000	2100	1400	3800	2600	1800
	Kigoma	1300	700	400	1600	900	500
	Lindi	700	300	100	900	500	200

Quadro 4.11 - Módulos de deformabilidade para uma camada betuminosa de 100 e 125 mm (Nottingham)

Países	Localização	Módulo de deformabilidade (MPa) - E_m					
		20 km/h			50 km/h		
		40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
Angola	Luanda	1300	700	400	1600	900	500
	M'Banza Congo	1300	700	400	1600	900	500
	Lucapa	1500	900	500	1800	1100	600
	Namibe	2300	1500	900	2800	1900	1200
África do Sul	Cape Town	3000	2100	1400	3800	2600	1800
	Pretoria	2500	1700	1100	3100	2100	1400
	Bhisho	2800	1900	1300	3400	2300	1600
Botswana	Gaborone	1800	1100	700	2300	1400	900
	Kasane	1300	700	400	1600	900	500
	Francistown	1800	1100	700	2300	1400	900
Namíbia	Windhoek	2300	1500	900	2800	1900	1200
	Rundu	1500	900	500	1800	1100	600
	Mariental	1600	1000	600	2000	1300	700
Zâmbia	Lusaka	2000	1300	800	2500	1600	1000
	Solwezi	2300	1500	900	2800	1900	1200
	Mongu	1300	700	400	1600	900	500
Zimbabué	Harare	2300	1500	900	2800	1900	1200
	Gwanda	2300	1500	900	2800	1900	1200
	Hwange	2000	1300	800	2500	1600	1000
Moçambique	Maputo	1300	700	400	1600	900	500
	Lichinga	2300	1500	900	2800	1900	1200
	Tete	800	400	200	1100	600	300
Malawi	Karonga	1300	700	400	1600	900	500
	Dedza	2500	1700	1100	3100	2100	1400
	Chikwawa	800	400	200	1100	600	300
Tanzânia	Dodoma	1800	1100	700	2300	1400	900
	Mbeya	3300	2300	1600	4100	2900	2000
	Kigoma	1500	900	500	1800	1100	600
	Lindi	800	400	200	1100	600	300

Quadro 4.12 - Módulos de deformabilidade para uma camada betuminosa de 150 mm (Nottingham)

Países	Localização	Módulo de deformabilidade (MPa) - E_m					
		20 km/h			50 km/h		
		40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
Angola	Luanda	1300	700	400	1600	900	500
	M'Banza Congo	1500	900	500	1800	1100	600
	Lucapa	1500	900	500	1800	1100	600
	Namibe	2300	1500	900	2800	1900	1200
África do Sul	Cape Town	3300	2300	1600	4100	2900	2000
	Pretoria	2500	1700	1100	3100	2100	1400
	Bhisho	2800	1900	1300	3400	2300	1600
Botswana	Gaborone	2000	1300	800	2500	1600	1000
	Kasane	1300	700	400	1600	900	500
	Francistown	2000	1300	800	2500	1600	1000
Namíbia	Windhoek	2300	1500	900	2800	1900	1200
	Rundu	1500	900	500	1800	1100	600
	Mariental	1600	1000	600	2000	1300	700
Zâmbia	Lusaka	2300	1500	900	2800	1900	1200
	Solwezi	2300	1500	900	2800	1900	1200
	Mongu	1500	900	500	1800	1100	600
Zimbabué	Harare	2500	1700	1100	3100	2100	1400
	Gwanda	2300	1500	900	2800	1900	1200
	Hwange	2300	1500	900	2800	1900	1200
Moçambique	Maputo	1300	700	400	1600	900	500
	Lichinga	2500	1700	1100	3100	2100	1400
	Tete	1000	500	200	1200	700	300
Malawi	Karonga	1500	900	500	1800	1100	600
	Dedza	2800	1900	1300	3400	2300	1600
	Chikwawa	800	400	200	1100	600	300
Tanzânia	Dodoma	1800	1100	700	2300	1400	900
	Mbeya	3300	2300	1600	4100	2900	2000
	Kigoma	1600	1000	600	2000	1300	700
	Lindi	1000	500	200	1200	700	300

Comparando os valores dos módulos de deformabilidade obtidos com os dois métodos, verificam-se algumas diferenças recorrentes da metodologia empírica subjacente. Verifica-se que o módulo de deformabilidade da mistura betuminosa calculado pelo método de Nottingham é sempre maior que o obtido pelo método da Shell. Para efeitos de cálculo, na análise efetuada neste trabalho foram adotados os valores obtidos pelo método de Nottingham.

Quanto ao coeficiente de Poisson, os valores mais comuns são:

- 0,35 para $T < 20^{\circ}\text{C}$;
- 0,40 para $T > 20^{\circ}\text{C}$ e penetração 40/50.

Dado que nos casos em estudo todas as temperaturas de serviço são superiores a 20°C , o coeficiente de Poisson adotado é de 0,40.

4.4 CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DAS CAMADAS GRANULARES E FUNDAÇÃO

De forma a ter a definição completa das características mecânicas de todo o pavimento é ainda necessário definir o módulo de deformabilidade e o coeficiente de Poisson das camadas granulares e da fundação.

4.4.1 FUNDAÇÃO

A camada de fundação assume um papel importante no dimensionamento de pavimentos, pois é a fundação que garante grande parte da resistência do pavimento.

Existem várias expressões para o cálculo do módulo de deformabilidade da fundação, das quais se destacam a expressão da Shell e da TRL (Reino Unido) apresentadas respetivamente em (26) e (27).

$$E_{\text{fundação}}(\text{MPa}) = 10 \text{ CBR } (\%) \quad (30)$$

$$E_{\text{fundação}}(\text{MPa}) = 17,6 \text{ CBR } (\%)^{0,64} \quad (31)$$

Como foi referido anteriormente, este estudo apenas incide sobre as estruturas de pavimento D1 e W1 e para a classe de fundação S4, à qual corresponde valores de CBR compreendido entre 8 e 14%. Para efeitos de definição do módulo de deformabilidade da fundação, foi considerado um valor intermédio de CBR igual a 10%.

A expressão da Shell é mais conservadora do que a segunda, e deste modo, será adotado o valor obtido por esta expressão, a fim de obter um dimensionamento do lado da segurança. Assim sendo, o módulo de deformabilidade da fundação é igual a 100 MPa.

O coeficiente de Poisson do solo de fundação depende do seu grau de coesão, variando correntemente entre 0,35 e 0,45. Neste trabalho é considerado o valor de 0,35.

4.4.2 CAMADAS GRANULARES

O módulo de deformabilidade das camadas granulares é determinado em função do módulo de deformabilidade da camada imediatamente inferior e da espessura da própria camada. Assim para o cálculo do módulo de deformabilidade da sub-base é necessário conhecer o módulo de deformabilidade da fundação (que foi anteriormente calculado). A expressão a utilizar é (28):

$$E_{sb}(\text{Mpa}) = k E_{\text{fundação}} \quad (32)$$

em que,

$$1,5 < k = 0,2 h_g^{0,45} < 4,0 \quad (33)$$

onde,

E_{sb} é o módulo de deformabilidade da sub-base;

h_g é a espessura da camada granular sobre a fundação;

k é a relação entre o módulo de deformabilidade das camadas.

Uma vez que, os módulos de deformabilidade destas camadas dependem das espessuras das mesmas, é necessário estimar esses valores para cada uma das estruturas presentes no catálogo do manual da SATCC [1] (em função das classes de tráfego de T1 a T8). Aplicando a expressão (28) também para as camadas de base, obteve-se os resultados presentes nos quadros Quadro 4.13 e Quadro 4.14, para as estruturas D1 e W1 respetivamente.

Quadro 4.13 - Módulos de deformabilidade para as camadas granulares de base e sub-base, para a estrutura D1

	Estruturas de D1 - classe S4							
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
Espessura camada base (mm)	150	150	150	150	200	200	200	200
Módulo de deformabilidade da camada da base (MPa)	300	330	360	380	470	470	490	540
Espessura camada de sub-base (mm)	100	125	150	175	200	200	225	275
Módulo de deformabilidade da camada da sub-base (MPa)	150	170	190	200	210	210	220	250

Quadro 4.14 - Módulos de deformabilidade para as camadas granulares de base e sub-base, para a estrutura W1

	Estruturas de W1 - classe S4							
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
Espessura camada base (m)	150	150	150	150	200	200	200	200
Módulo de deformabilidade da camada da base (MPa)	330	360	360	410	440	440	470	490
Espessura camada de sub- base (m)	100	125	150	175	200	200	225	275
Módulo de deformabilidade da camada da sub- base (MPa)	170	190	190	200	200	200	210	220

O valor do coeficiente de Poisson geralmente varia entre 0,30 e 0,35 para as camadas de agregado britado de granulometria extensa, tendo-se adotado o valor de 0,35 nos cálculos das estruturas de pavimento.

4.5 CRITÉRIOS DE RUÍNA

Como foi anteriormente referido as estruturas dos pavimentos rodoviários são submetidas, ao longo da sua vida útil, a ações extremamente variáveis que afetam as propriedades mecânicas das várias camadas (principalmente o módulo de deformabilidade). Com este efeito, em cada ponto do pavimento são gerados picos de tensão e de deformação, que geram assim mecanismos de degradação das camadas betuminosas, ou seja, progressivas alterações e consequente redução da qualidade dos materiais constituintes do pavimento.

Os principais esforços habitualmente analisados no dimensionamento de um pavimento flexível são:

- as extensões horizontais de tração na parte inferior das camadas betuminosas – critério de fadiga das misturas betuminosas;
- as extensões verticais de compressão no topo do solo de fundação – critério de deformação permanente.

4.5.1 CRITÉRIO DE FADIGA

O fendilhamento por fadiga tende a ocorrer tanto mais rápido quanto mais elevados forem os esforços de tração instalados. As leis de comportamento à fadiga, regra geral, relacionam a extensão máxima de tração induzida com o correspondente número de aplicações de carga que conduz à ruína do material por este critério de rotura.

A fadiga ocorre sobretudo a temperaturas baixas a moderadas, quando as camadas betuminosas apresentam um comportamento viscoelástico com forte componente elástica.

A lei de fadiga proposta pela Shell [12], é uma das mais conhecidas e utilizadas. A vida duma camada betuminosa à fadiga é função do nível de extensão, da quantidade de betume e do módulo de deformabilidade da mistura. Este modelo pode ser expresso pela equação (29).

$$\varepsilon_t = K \times N^{-0,20} \quad (34)$$

com,

$$K = (0,856 \times V_b + 1,08) \times E_m^{-0,36} \quad (35)$$

onde,

N é o número de carregamentos de eixos padrão até à ocorrência de rotura por fadiga;

V_b , a percentagem volumétrica de betume;

ε_t , a extensão de tração aplicada;

E_m , o módulo de deformabilidade da mistura betuminosa [Pa].

4.5.2 CRITÉRIO DE DEFORMAÇÃO PERMANENTE

O método da Shell expressa o critério de ruína por deformação permanente através da relação entre a extensão vertical de compressão, medida no topo do solo de fundação (ε_{dp}), com o número de eixos padrão (N) de acordo com a expressão seguinte:

$$\varepsilon_{dp} = K_s \times N^{-0,25} \quad (36)$$

em que,

ε_{dp} é a extensão vertical de compressão no topo do solo de fundação;

N, o número de eixos padrão;

K_s , o parâmetro de que depende a probabilidade de sobrevivência, sendo que o seu valor pode variar dependendo das situações seguintes:

- $K_s = 1,8 \times 10^{-2}$ (probabilidade de sobrevivência de 95%)
- $K_s = 2,1 \times 10^{-2}$ (probabilidade de sobrevivência de 85%)
- $K_s = 2,8 \times 10^{-2}$ (probabilidade de sobrevivência de 50%)

No presente caso, foi adotado o valor intermédio, para uma probabilidade de sobrevivência de 85% ($K_s = 2,1 \times 10^{-2}$).

4.6 PROGRAMA DE CÁLCULO BISAR

O programa de cálculo utilizado no presente trabalho é o programa BISAR, desenvolvido pela Shell. O BISAR utiliza na sua fundamentação uma metodologia muito simples baseada na teoria de Burmister, que considera, para representar as estruturas de pavimentos, um sistema multicamada composto por camadas horizontais semi-infinitas, contínuas, homogéneas, de espessura constante e constituídas por materiais isotrópicos com comportamento elástico-linear, assentes sobre um meio espaço semi-infinito (meio espaço de Boussinesq) [27].

Quanto aos modelos de carregamento, este software apenas permite adotar uma tensão de contacto uniforme, aplicada sobre uma área circular, com distribuição temporal uniforme, isto é, não tem em conta o carácter dinâmico da carga.

Na Figura 4.8 é possível observar uma imagem do programa de cálculo BISAR, onde foram introduzidas as cargas verticais que cada roda transmite à estrutura do pavimento, indicando também o seu raio e as posições no plano onde cada carga vertical transmite os esforços para ao pavimento. Quanto às cargas horizontais correspondentes à reação necessária para o movimento do veículo e às reações que ocorrem durante as frenagens, esta foi desprezada.

Refere-se que os valores relativos ao tráfego permanecem constantes ao longo do trabalho, ou seja, no cálculo de todas as estruturas de pavimento analisadas.

Load Number	Vertical Load (kN)	Radius (m)	X Coordinate (m)	Y Coordinate (m)	Horizontal Load (kN)	Shear Direction (degr.)
1	20,000	0,1050	0,0000	-0,1575	0,000	0,0
2	20,000	0,1050	0,0000	0,1575	0,000	0,0

Figura 4.8 - Introdução de dados referente à solicitação do tráfego no programa BISAR

Refere-se ainda que o software utilizado apenas permite considerar comportamento elástico linear dos materiais, como usual no dimensionamento de pavimentos. Assim, só é necessário introduzir o módulo de deformabilidade, E , e coeficiente de Poisson, ν dos materiais. Na Figura 4.9 é possível observar um exemplo dos dados introduzidos para o caso específico de Luanda em Angola, e representa uma estrutura W1 de classe de tráfego T4, para um betume de penetração 40/50 e para uma velocidade de 20 km/h.

BISAR 3.0 - Bitumen Stress Analysis in Roads

Project Edit Copy From Results Window Help

angola luanda T4

Number of Systems (1-10): 6

System Description: betume 40/50 - 20km/h

Layers

Full Friction Between Layers? ☒

Save Retrieve

No of Layers (1-10): 4

Layer Number	Thickness (m)	Modulus of Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio
1	0,050	1,10E+03	0,40
2	0,175	4,10E+02	0,35
3	0,175	2,00E+02	0,35
4		1,00E+02	0,35

Figura 4.9 - Introdução de dados relativa às características mecânicas dos materiais (BISAR)

Uma vez que, na verificação do pré-dimensionamento destes pavimentos, aplicam-se os critérios de ruína propostos pela Shell, então é necessário determinar as extensões horizontais de tração na parte inferior das camadas betuminosas e as extensões verticais de compressão no topo do solo de fundação.

Na Figura 4.10 está indicado um exemplo da localização dos pontos de interesse para a determinação das extensões máximas vertical e horizontal, para uma estrutura W1 de classe de tráfego T4.

BISAR 3.0 - Bitumen Stress Analysis in Roads

Project Edit Copy From Results Window Help

angola luanda T4

Number of Systems (1-10): 6

System Description: betume 40/50 - 20km/h

Positions

Select Positions for Standard Dual Wheel

Save Retrieve

No of Position Entries (1-10): 6

Position Number	X Coordinate (m)	Y Coordinate (m)	Z (depth) Coordinate (m)	Layer No
1	0,0000	0,0000	0,0500	1
2	0,0000	-0,1575	0,0500	1
3	0,0000	0,1575	0,0500	1
4	0,0000	0,0000	0,4000	4
5	0,0000	-0,1575	0,4000	4
6	0,0000	0,1575	0,4000	4

Select Layer
Select Layer
Select Layer

Figura 4.10 - Localização dos pontos de interesse para a determinação das extensões verticais e horizontais máximas

4.7 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

Após todos os dados introduzidos no programa de cálculo BISAR, faz-se a análise das estruturas em estudo, tendo como objetivo verificar o pré-dimensionamento proposto pelo manual sul-africano. Refere-se que as extensões e os deslocamentos de todos os cálculos realizados podem ser consultados nos ANEXOS II e III.

4.7.1 ESTRUTURAS DEFINIDAS PARA W1 COM REVESTIMENTO BETUMINOSO A QUENTE

Começa por referir-se o elevado número (um total de mil cento e trinta e seis) de cálculos realizados no estudo dos pavimentos proposto para a região W1 e classe de fundação S4, resultantes da consideração de vinte e nove localizações de nove países, três tipos de betume e duas velocidades. Devido ao elevado número de estruturas analisadas optou-se por apresentar os resultados por “grupos”, que foram, definidos juntando as localidades cujas características idênticas (mesma temperatura de serviço e consequentemente o mesmo módulo de deformabilidade das misturas betuminosas) e que podem ser representadas por uma única localização. Vejamos o exemplo das localidades de Luanda, M'Banza Congo, Kasane, Mongu, Maputo e Karonga, que, para a espessura da camada betuminosa de 50 mm, apresentam a mesma temperatura de serviço, e portanto o mesmo módulo de deformabilidade da camada betuminosa. Sendo assim, todas estas localizações são representadas, para esta espessura, pelo grupo “Angola – Luanda”. Com esta metodologia, obteve-se: dez grupos para a espessura de 50 mm; doze grupos para as espessuras de 100 mm e 125 mm; onze grupos para a espessura de 150 mm de camada betuminosa.

Assim, dependendo da espessura da camada betuminosa, e portanto, da classe de tráfego, cada localidade é representada por uma “localidade-mãe”, indicada no Quadro 4.15. Note-se que o grupo de localidades poderá não ser o mesmo para diferentes espessuras de camada betuminosa, uma vez que as temperaturas de serviço, e portanto, os módulos de deformabilidade dependem da espessura das camadas betuminosas.

Quadro 4.15 - Indicação dos grupos de localizações com as mesmas características

Grupos de localizações, segundo a classe de tráfego			
Localidades	T1 a T5	T6 e T7	T8
Luanda	Angola - Luanda	Angola - Luanda	Angola - Luanda
M'Banza Congo	Angola - Luanda	Angola - Luanda	Angola - Lucapa
Lucapa	Angola - Lucapa	Angola - Lucapa	Angola - Lucapa
Cape Town	África do Sul - Cape Town	África do Sul - Cape Town	África do Sul - Cape Town
Pretoria	África do Sul - Pretoria	África do Sul - Pretoria	África do Sul - Pretoria
Bhisho	África do Sul - Cape Town	África do Sul - Bhisho	África do Sul - Bhisho
Gaborone	Botswana - Gaborone	Botswana - Gaborone	Botswana - Gaborone
Kasane	Angola - Luanda	Angola - Luanda	Angola - Luanda
Francistown	Botswana - Gaborone	Botswana - Gaborone	Botswana - Gaborone
Windhoek	Namíbia - Windhoek	Namíbia - Windhoek	Namíbia - Windhoek
Rundu	Angola - Lucapa	Angola - Lucapa	Angola - Lucapa
Lusaka	Zâmbia - Lusaka	Zâmbia - Lusaka	Namíbia - Windhoek
Solwezi	Namíbia - Windhoek	Namíbia - Windhoek	Namíbia - Windhoek
Mongu	Angola - Luanda	Angola - Luanda	Angola - Lucapa
Harare	África do Sul - Pretoria	Zimbabué - Harare	África do Sul - Pretoria
Gwanda	Namíbia - Windhoek	Namíbia - Windhoek	Namíbia - Windhoek
Hwange	Zâmbia - Lusaka	Zâmbia - Lusaka	Namíbia - Windhoek
Maputo	Angola - Luanda	Angola - Luanda	Angola - Luanda
Lichinga	África do Sul - Pretoria	Zimbabué - Harare	África do Sul - Pretoria
Tete	Moçambique - Tete	Moçambique - Tete	Moçambique - Tete
Karonga	Angola - Luanda	Angola - Luanda	Angola - Lucapa
Dedza	África do Sul - Pretoria	África do Sul - Pretoria	África do Sul - Bhisho
Chikwawa	Moçambique - Tete	Moçambique - Tete	Malawi - Chikwawa
Dodoma	Botswana - Gaborone	Botswana - Gaborone	Tanzânia - Dodoma
Mbeya	Tanzânia - Mbeya	Tanzânia - Mbeya	África do Sul - Cape Town
Kigoma	Angola - Lucapa	Angola - Lucapa	Tanzânia - Kigoma
Lindi	Tanzânia - Lindi	Tanzânia - Lindi	Moçambique - Tete

A apresentação completa dos resultados das extensões de tração e de compressão obtidos com o programa BISAR e do respetivo número de eixos padrão de 80 kN, calculados pelos critérios de ruína

definidos pelo método da Shell [12], encontra-se apresentada no ANEXO II, para estruturas da região D1, e no ANEXO III, para estruturas de pavimento da região W1. Nestes quadros (semelhante ao Quadro 4.16) são apresentadas as classes de tráfego correspondentes ao valor obtido para o número acumulado de eixos padrão (N_{80}), assim como a variação do tráfego em relação ao número de eixos padrão espectável para determinada estrutura. Esta variação é indicada em percentagem e o sinal positivo ou sinal negativo, indica os casos em que o número acumulado de eixos-padrão é superior ao máximo esperado ou inferior ao mínimo espectável, respetivamente.

Vejam os casos apresentados no Quadro 4.16, para o grupo de localizações representadas por “Angola - Luanda” para a classe de tráfego T6, definida no manual da SATCC. Neste caso, o pavimento em estudo corresponde segundo manual da SATCC, a uma classe de tráfego T6 (entre 6 e 10 milhões de eixos padrão), contudo, como se pode observar, aplicando os critérios de ruína, verifica-se que, para o betume do tipo 40/50, a estrutura do pavimento se encontra sobredimensionada, já que permite a passagem de 10 milhões de eixos-padrão para as solicitações consideradas. Como se pode ver ainda neste quadro, o critério limitativo é o de deformação permanente das camadas granulares.

Quadro 4.16 - Caso de aplicação dos critérios de ruína de acordo com os dados recolhidos do BISAR

ANGOLA - Luanda						
T6	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵ_t	2,20E-04	2,31E-04	2,24E-04	2,12E-04	2,29E-04	2,29E-04
N_{80} (milhões de eixos-padrão)	14,4	34,4	109,8	11,9	22,8	65,8
ϵ_{dp}	-3,68E-04	-4,00E-04	-4,18E-04	-3,59E-04	-3,84E-04	-4,09E-04
N_{80} (milhões de eixos-padrão)	10,6	7,6	6,4	11,7	8,9	6,9
Classe tráfego após cálculo	T7	T6	T6	T7	T6	T6
Variação (%)	+5,7	-	-	+14,6	-	-

ϵ_t – extensão de tração na base das camadas betuminosas; ϵ_{dp} – extensão de compressão no topo do solo de fundação

Dado o elevado número de estruturas de pavimento analisadas, passa agora a analisar-se os resultados de modo mais global, indicando, para as várias localizações, as estruturas dimensionadas para estas localidades (em função do tipo de betume e da velocidade de circulação), que se encontram de acordo com o manual da SATCC [1].

No caso de o número de eixos padrão acumulado não estar de acordo com o manual, é indicado, por um sistema de cores se a estrutura dimensionada se encontra sobredimensionada ou subdimensionada, sendo posteriormente analisadas estas situações.

4.7.1.1 Classe de tráfego T3

De acordo com os resultados retirados do programa BISAR e após aplicação dos critérios de ruína definidos pela Shell [12] verifica-se que todas as estruturas de pavimentos rodoviários de todas as localizações, definidas para a classe de tráfego T3 se encontram de acordo com o previsto pelo manual sul-africano, como se observa na Figura 4.11.

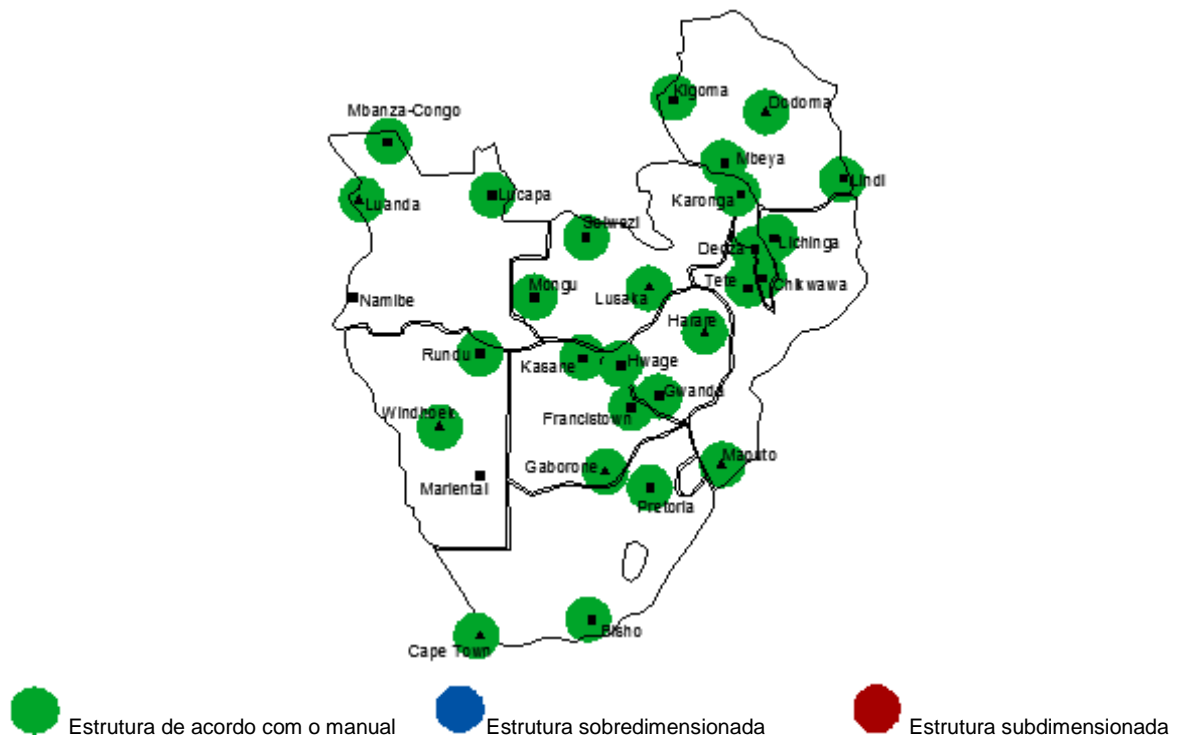


Figura 4.11 - Aplicabilidade do manual a estruturas do tipo W1, de classe de tráfego T3

As localizações de Namibe e Mariental são abordadas adiante, uma vez que se encontram em regiões climáticas secas e portanto a sua estrutura de pavimento é diferente das apresentadas.

4.7.1.2 Classe de tráfego T4

À classe de tráfego T4 está associado um maior número de passagens de eixo padrão: entre 1,5 e 3 milhões de eixos-padrão.

Ao contrário da classe de tráfego T3, muitas das estruturas de pavimento definidas pelo manual da SATCC [1] para os betumes 40/50 e velocidades de 20 km/h e 50 km/h não se encontram de acordo com o referido, como se pode observar da Figura 4.12.

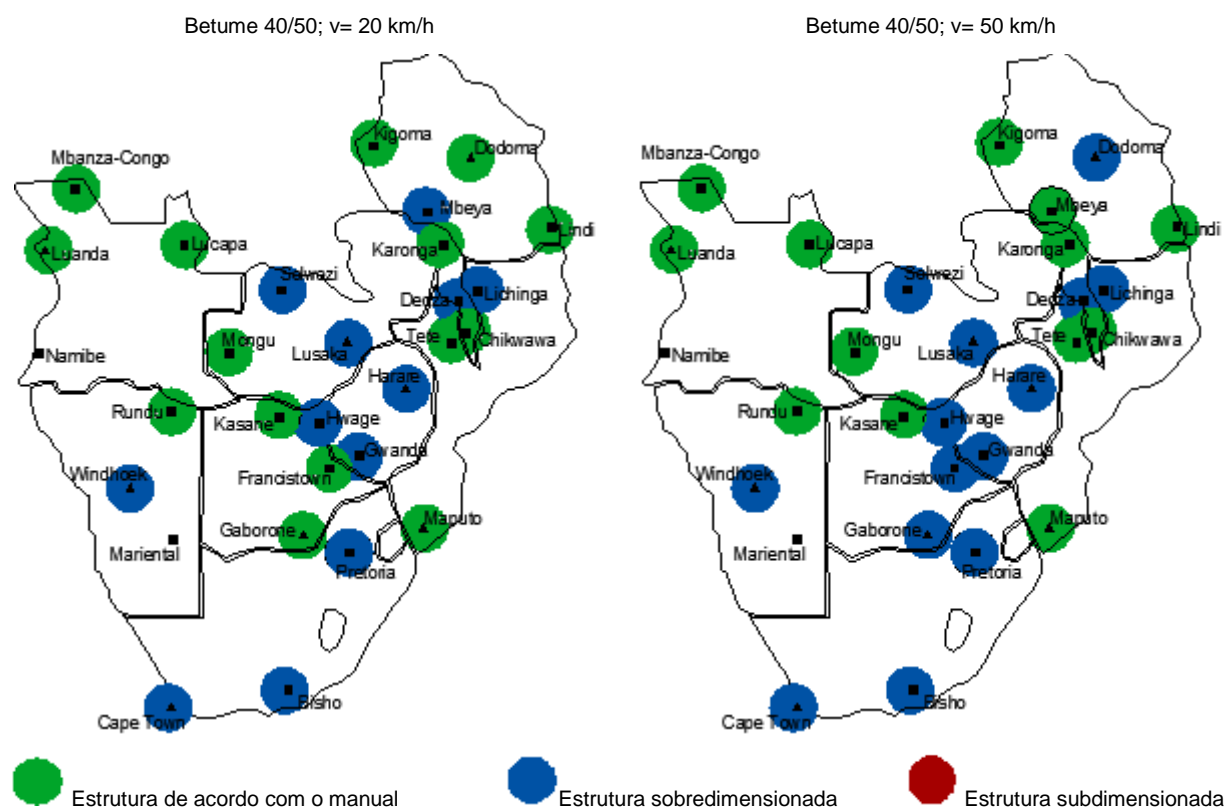


Figura 4.12 - Aplicabilidade do manual a estruturas do tipo W1, de classe de tráfego T4 e betume 40/50

Veja-se que para um betume demasiado rijo como o betume 40/50, muitas das estruturas encontram-se sobredimensionadas, ou seja, o número acumulado de eixos-padrão excede o limite superior estabelecido para o tráfego correspondente. Este efeito aumenta quando a velocidade de circulação aumenta, pois o tempo de contacto dos veículos sobre o pavimento é menor. Esta situação é possível ver em pormenor no grupo de localizações designado por “Botswana -Gaborone” que inclui as localizações de: Gaborone e Francistown (Botswana) e Dodoma (Tanzânia) apresentado no gráfico da Figura 4.13.

As linhas horizontais colocadas nos gráficos de barras representam a capacidade estrutural que as estruturas deveriam apresentar de acordo com o catálogo da SATCC [1], ou seja, o número de eixos padrão de 80 kN que o pavimento consegue suportar durante a sua vida útil. Estes gráficos foram feitos para todas as classes de tráfego e para todos os grupos de localizações diferentes e estão apresentados no ANEXO V.

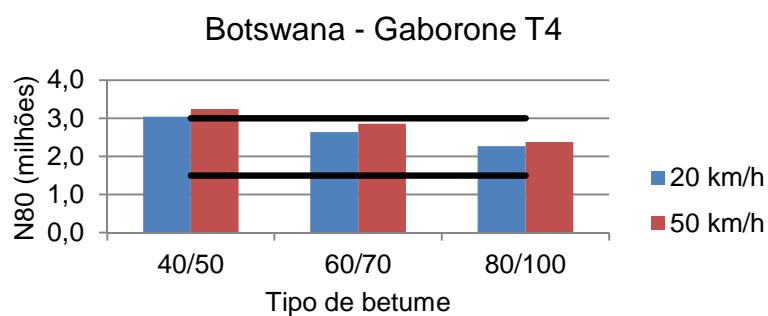


Figura 4.13 - Número acumulado de eixos-padrão para a estrutura W1 - T4 - S4 do grupo “Botswana- Gaborone”

Apesar de não ser comum para as restantes localizações em estudo com temperaturas médias anuais elevadas, no caso da localidade de Mbeya (ver Quadro 4.17) para uma temperatura de serviço de apenas 26 °C, a rotura do pavimento, para o betume 40/50 e uma velocidade de 50 km/h, acontece primeiro na camada de fundação, o que fez com que o número de eixos-padrão admissíveis não aumentasse com a velocidade.

Quadro 4.17 - Caso de aplicação dos critérios de ruína para a localidade de Mbeya (Tanzânia)

TANZÂNIA - Mbeya						
T4	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵ_t	2,13E-04	2,13E-04	2,02E-04	2,08E-04	2,14E-04	2,10E-04
N_{80} (milhões de eixos-padrão)	3,8	7,1	19,3	2,8	4,7	10,1
ϵ_{dp}	-4,80E-04	-4,94E-04	-5,08E-04	-4,74E-04	-4,86E-04	-5,00E-04
N_{80} (milhões de eixos-padrão)	3,7	3,3	2,9	3,9	3,5	3,1
Classe tráfego após cálculo	T5	T5	T4	T4	T5	T5
Variação (%)	+18,1	+8,1	-	-	+13,9	+3,6

ϵ_t – extensão de tração na base das camadas betuminosas; ϵ_{dp} – extensão de compressão no topo do solo de fundação

Quanto aos betumes mais moles da gama 60/70 Figura 4.14, verifica-se que o grupo de estruturas de pavimentos “Botswana- Gaborone” já se encontra de acordo com o previsto no manual sul-africano.

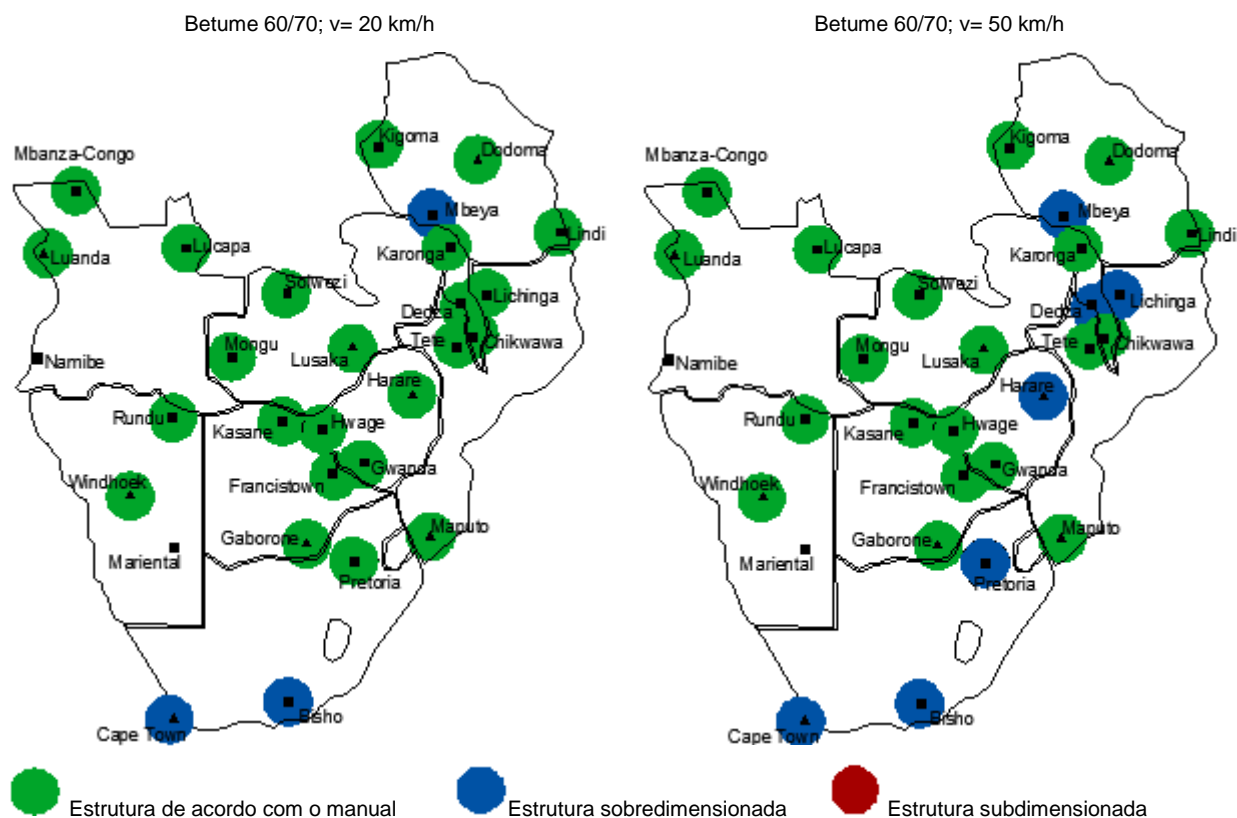


Figura 4.14 - Aplicabilidade do manual a estruturas do tipo W1, de classe de tráfego T4 e betume 60/70

Pela Figura 4.14 verifica-se que, para a classe de tráfego T4, o número de eixos-padrão admissível diminuiu, na generalidade, com o uso de um betume mais mole (betume 60/70 em vez de 40/50), mas com o aumento da velocidade o número de eixos-padrão tende a aumentar, causando o sobredimensionamento das localizações do grupo “África do Sul – Pretoria”.

Relativamente ao uso de um betume 80/100 Figura 4.15, verifica-se que todas as estruturas estão de acordo com o manual da SATCC [1].

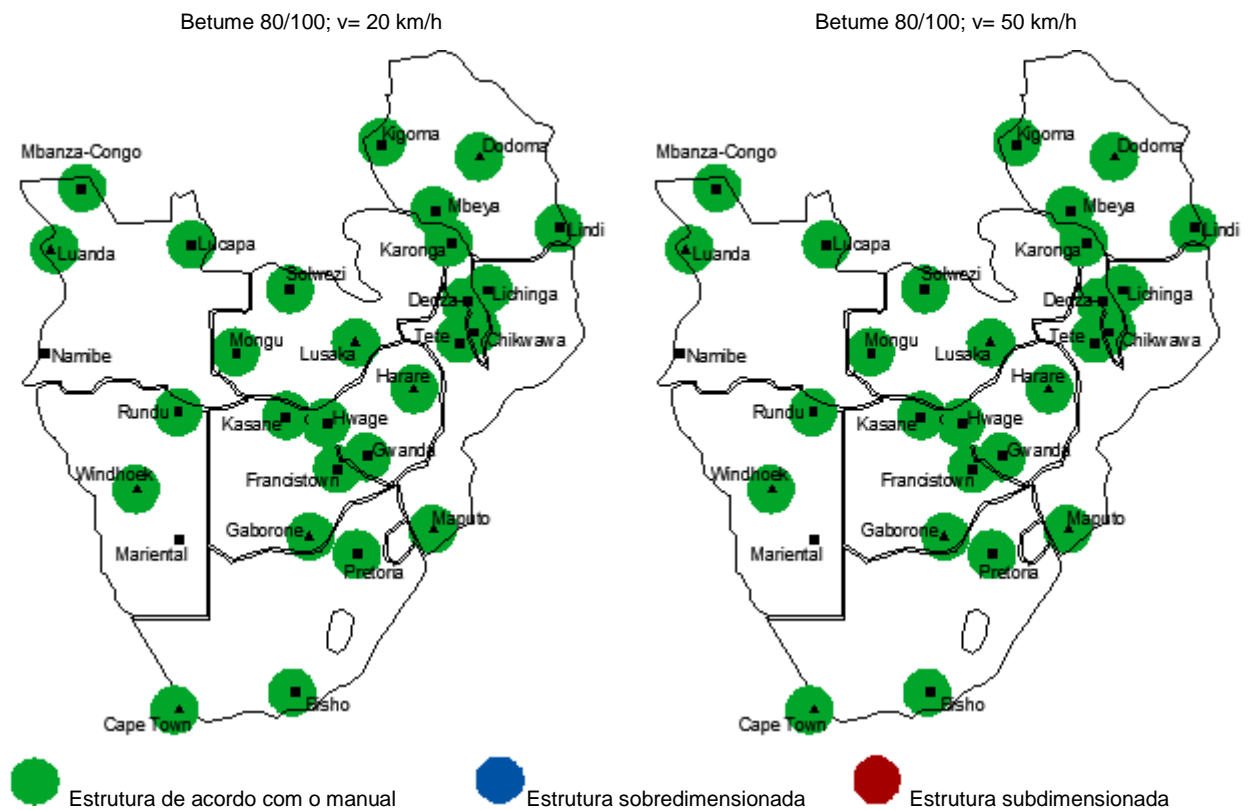


Figura 4.15 - Aplicabilidade do manual a estruturas do tipo W1, de classe de tráfego T4 e betume 80/100

4.7.1.3 Classe de tráfego T5

A classe de tráfego T5 é definida segundo o manual sul-africano para um intervalo de 3 a 6 milhões de eixos-padrão. Segundo a Figura 4.16 todas as estruturas se encontram de acordo com o previsto no manual não havendo estruturas sobredimensionadas ou subdimensionadas.

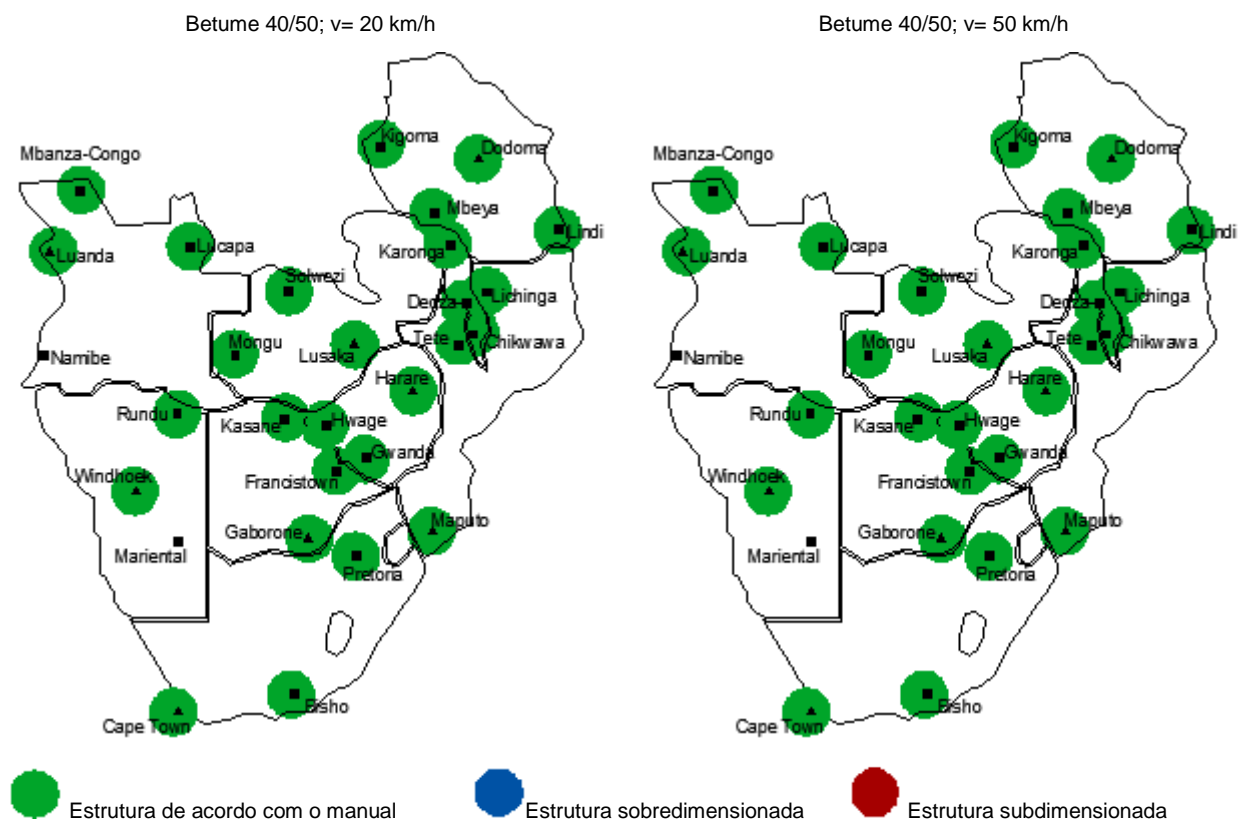


Figura 4.16 - Aplicabilidade do manual a estruturas do tipo W1, de classe de tráfego T5 e betume 40/50

A Figura 4.17 representa estruturas dimensionadas para o betume 60/70 para uma classe de tráfego T5.

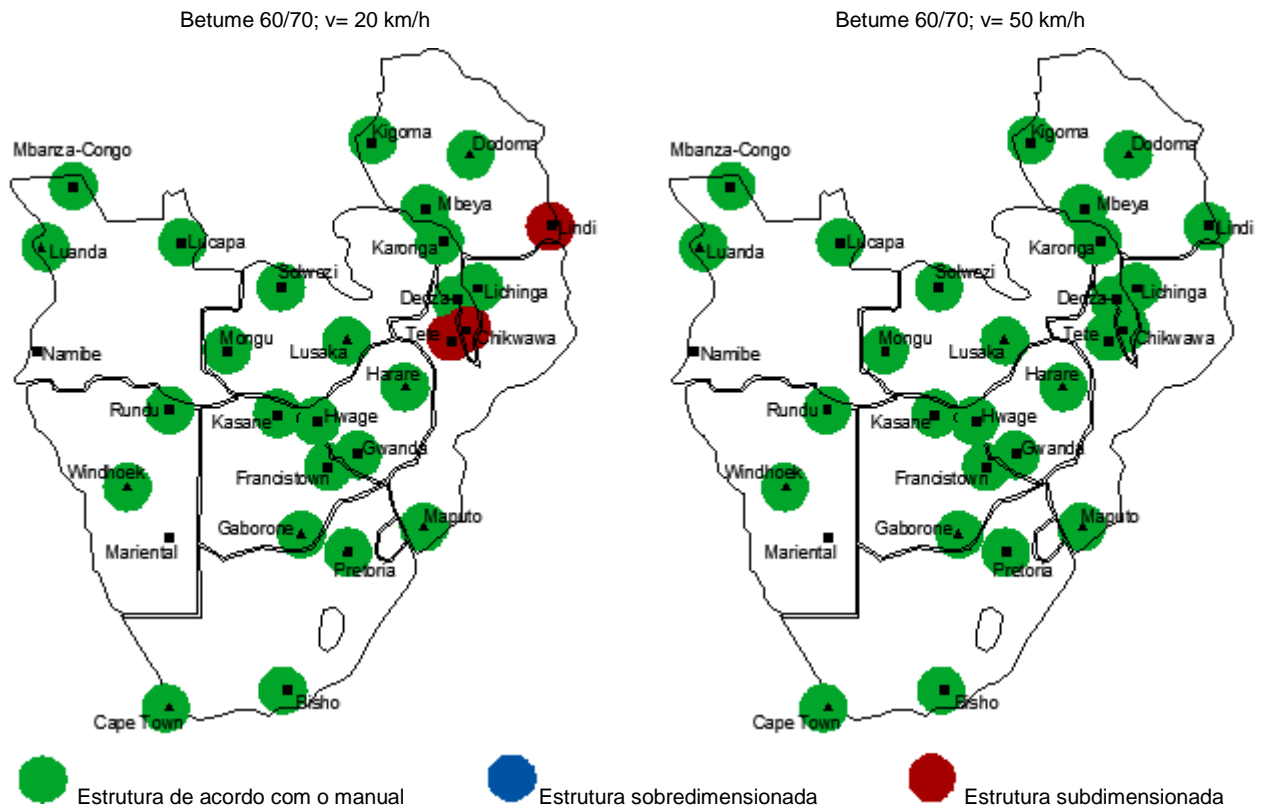


Figura 4.17 - Aplicabilidade do manual a estruturas do tipo W1, de classe de tráfego T5 e betume 60/70

Observando a Figura 4.17, verifica-se que para o grupo de localizações “Moçambique – Tete” e “Tanzânia – Lindi”, a capacidade de carga da estrutura encontra-se abaixo do limite inferior estabelecido para a classe de tráfego T5. No entanto, considerando a velocidade de circulação de 50 km/h, as estruturas encontram-se de acordo com o manual. Esta situação pode ver-se em pormenor na Figura 4.18.

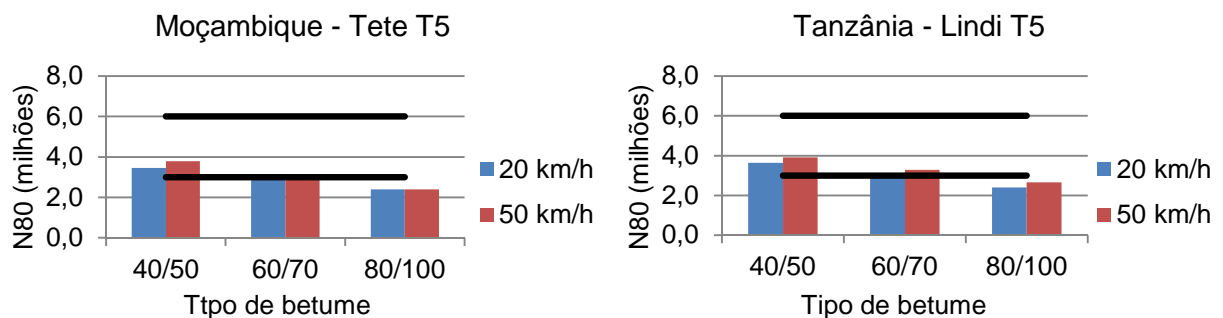


Figura 4.18 - Número acumulado de eixos-padrão para a estrutura W1 - T5 - S4 do grupo “Moçambique - Tete” e “Tanzânia - Lindi”

A falência do pavimento em fases muito precoces para estas localizações em particular deve-se ao facto de estas apresentarem as maiores temperaturas de serviço do conjunto das vinte e nove localizações em estudo. A rotura do pavimento para temperaturas altas, dá-se tanto mais rápido, quanto mais mole for o betume e maior o tempo de contacto que houver entre o veículo e o pavimento,

como se pode confirmar pelas restantes estruturas apresentadas na Figura 4.19 que também se encontram subdimensionadas.

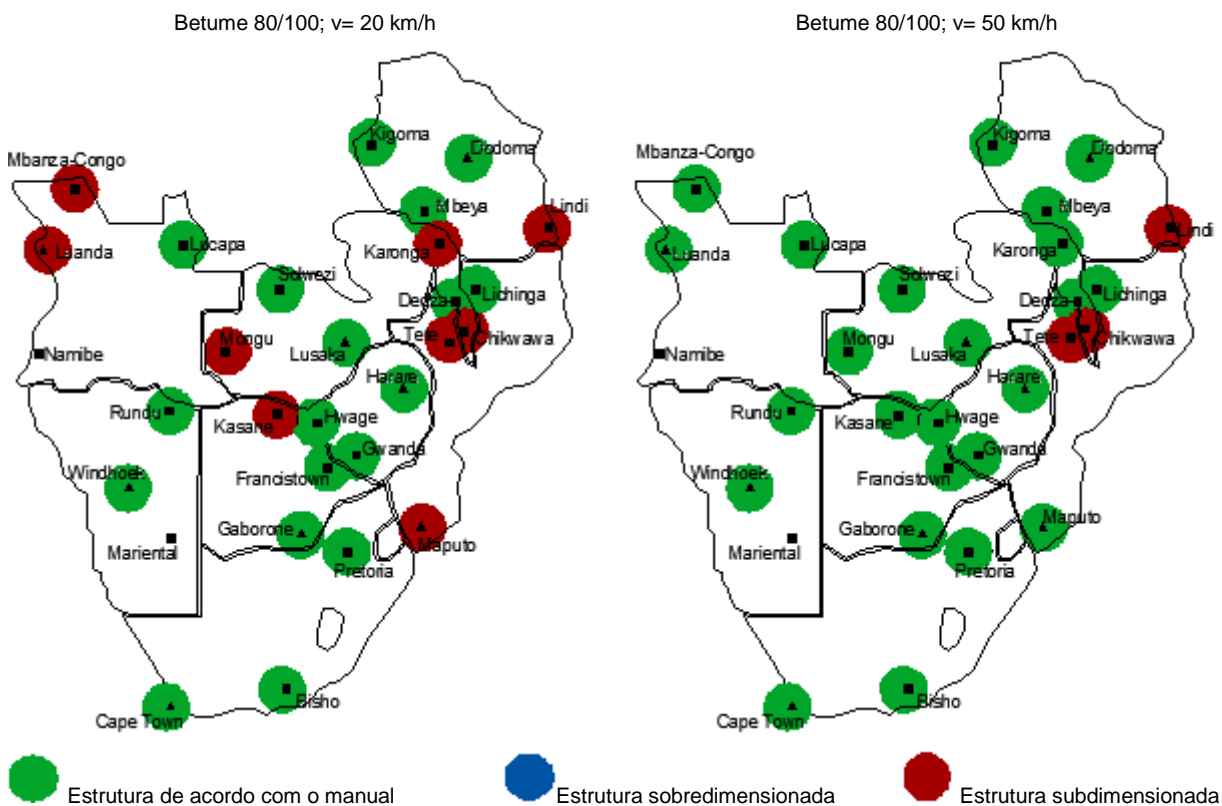


Figura 4.19 - Aplicabilidade do manual a estruturas do tipo W1, de classe de tráfego T5 e betume 80/100

4.7.1.4 Classe de tráfego T6

As estruturas de pavimentos rodoviários definidas com um betume 40/50 para a classe de tráfego T6 (entre 6 a 10 milhões de eixos-padrão) estão, sobredimensionadas, de acordo com o manual, não havendo por isso, problemas do ponto de vista estrutural.

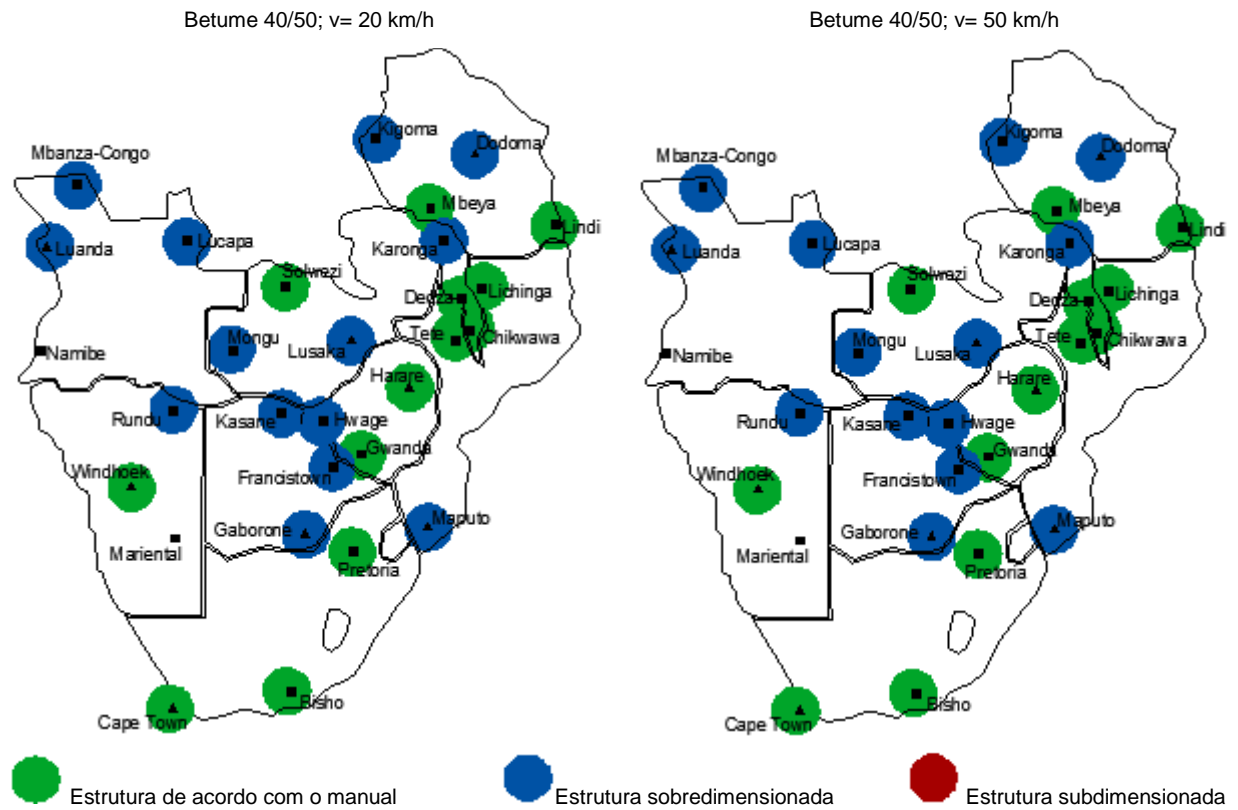


Figura 4.20 - Aplicabilidade do manual a estruturas do tipo W1, de classe de tráfego T6 e betume 40/50

Refere-se também que as estruturas de pavimentos para esta classe de tráfego não apresentam comportamento distinto quando são consideradas as velocidades de 20 km/h e 50 km/h.

Na Figura 4.21, apresentam-se os resultados para o betume de penetração 60/70, constatando-se que não existem estruturas que apresentem problemas do ponto de vista estrutural.

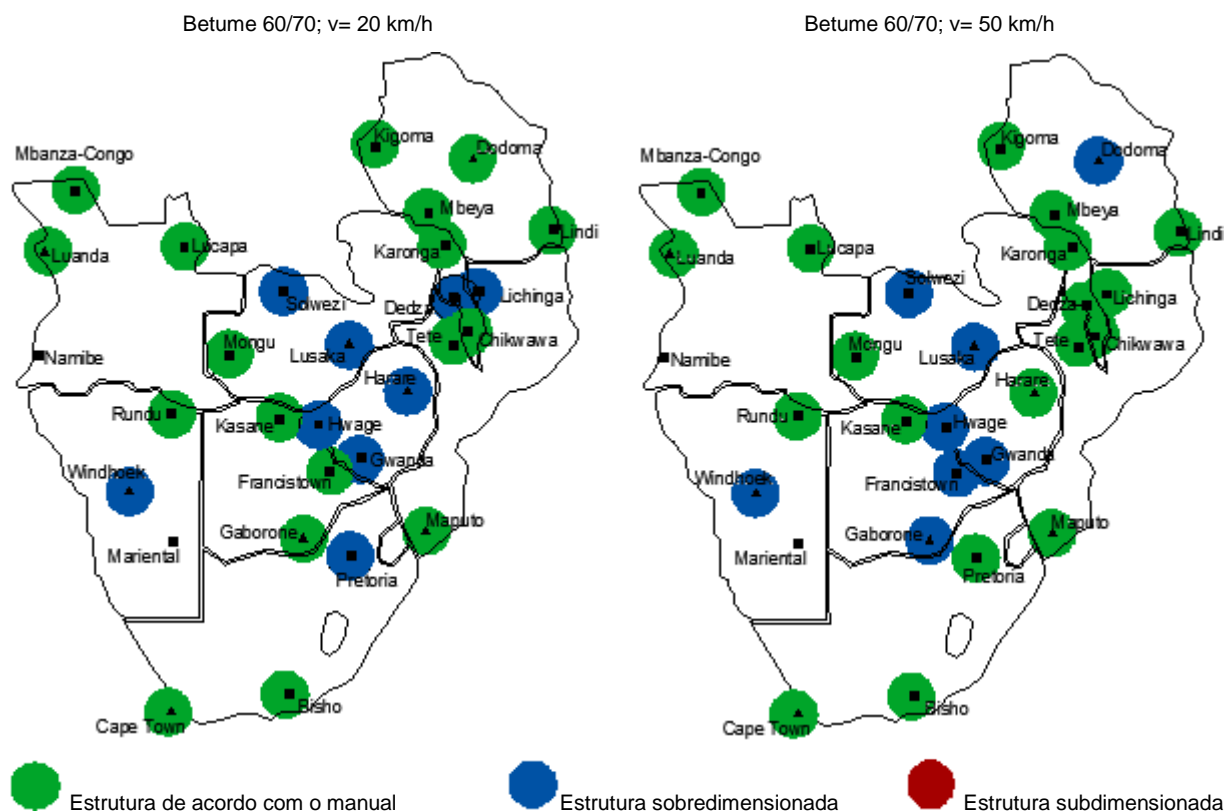


Figura 4.21 - Aplicabilidade do manual a estruturas do tipo W1, de classe de tráfego T6 e betume 60/70

A performance das estruturas dimensionadas com betume 80/100 para a classe de tráfego T6 pode ser avaliada na Figura 4.22.

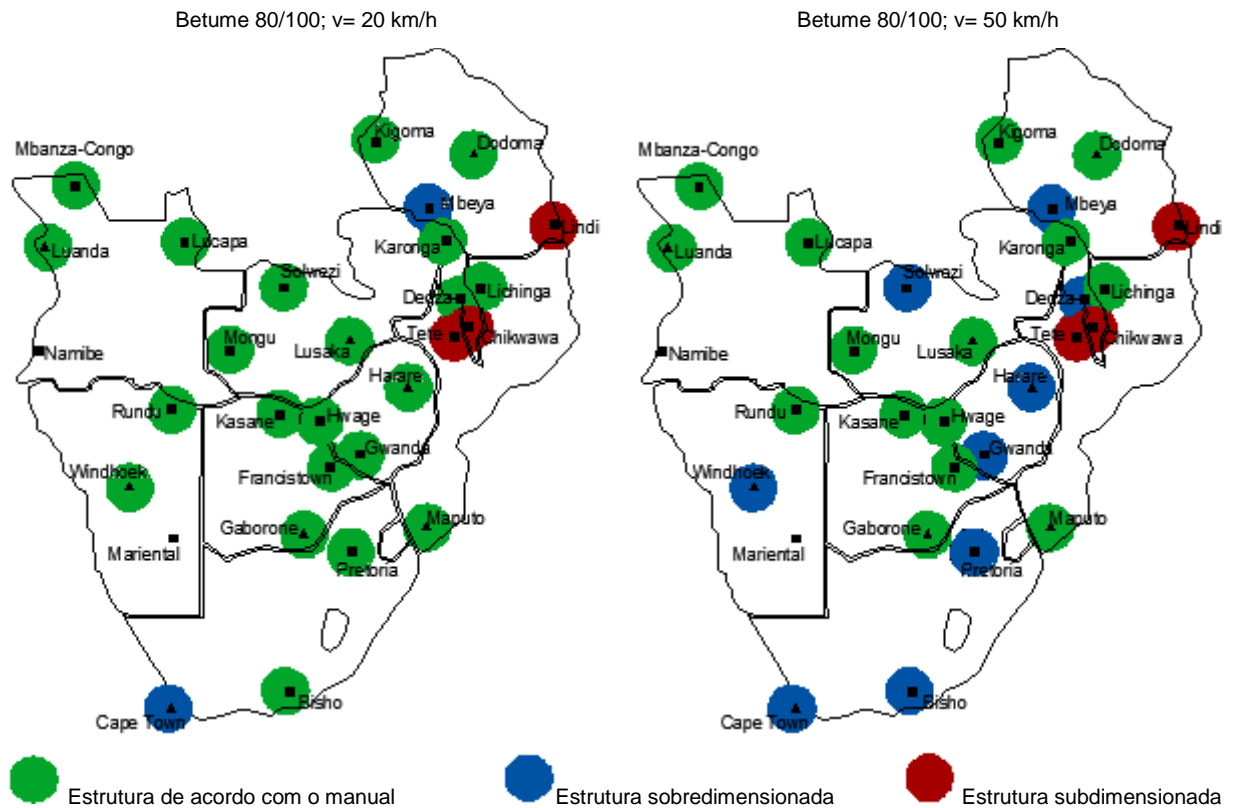


Figura 4.22 - Aplicabilidade do manual a estruturas do tipo W1, de classe de tráfego T6 e betume 80/100

Observando a Figura 4.22, verifica-se que, para o betume mais mole (betume 80/100), as estruturas das localizações com temperaturas mais elevadas (Tete e Lindi) exibem capacidade de carga abaixo do previsto em comparação com as localizações com temperatura mais baixa (Mbeya e Cape Town) que se comportam exatamente do modo contrário. Nos gráficos é possível observar o comportamento das estruturas dos países mais quentes e mais frios em relação à variação do betume e da velocidade.

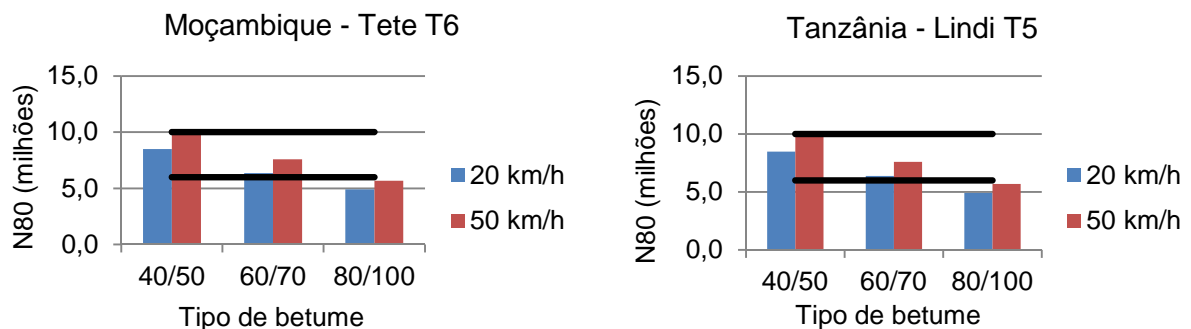


Figura 4.23 - Número acumulado de eixos-padrão para a estrutura W1 – T6 - S4 das localizações “África do Sul- Cape Town” e “Tanzânia - Mbeya”

Repare-se que para as localizações onde as temperaturas são mais altas o número acumulado de eixos-padrão para a classe de tráfego T6 diminui com o amolecimento do betume. Betumes moles revelam

ter um mau comportamento em altas temperaturas, como expectável. De outro modo, em zonas com temperatura mais baixa, o betume que parece contribuir melhor para a resistência da estrutura é o betume mais mole, o betume 80/100, como se verifica na Figura 4.24.

Observe-se também que, para estruturas em regiões mais quentes, a resistência da estrutura (traduzido pelo número acumulado de eixos padrão) é maior quanto maior for a velocidade dos veículos considerada. Já para regiões com temperaturas mais baixas como África do Sul ou Mbeya essa relação não é tão evidente.

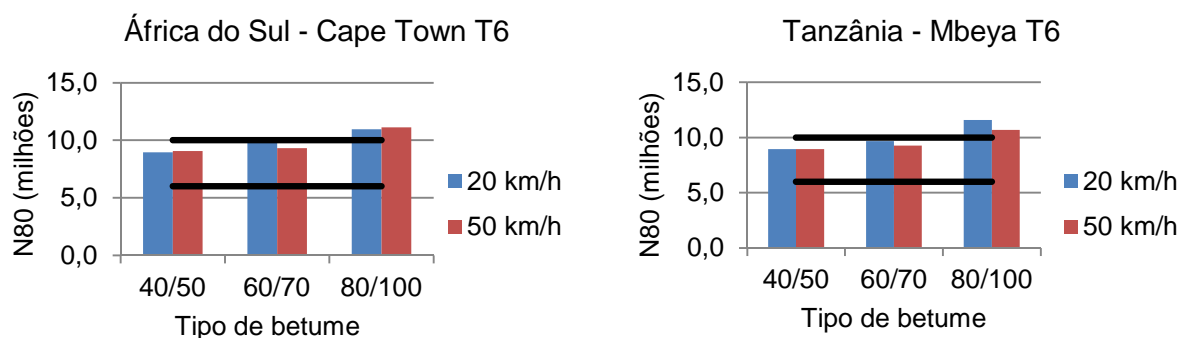


Figura 4.24 - Número acumulado de eixos-padrão para a estrutura W1 – T6 - S4 das localizações "Moçambique - Tete" e "Tanzânia - Lindi"

4.7.1.5 Classe de tráfego T7

A utilização de betumes de penetração 40/50 em estruturas de classe de Tráfego T7 leva ao sobredimensionamento das estruturas de pavimento, qualquer que seja a localização ou a temperatura a que o pavimento está submetido, como se observa na Figura 4.25.

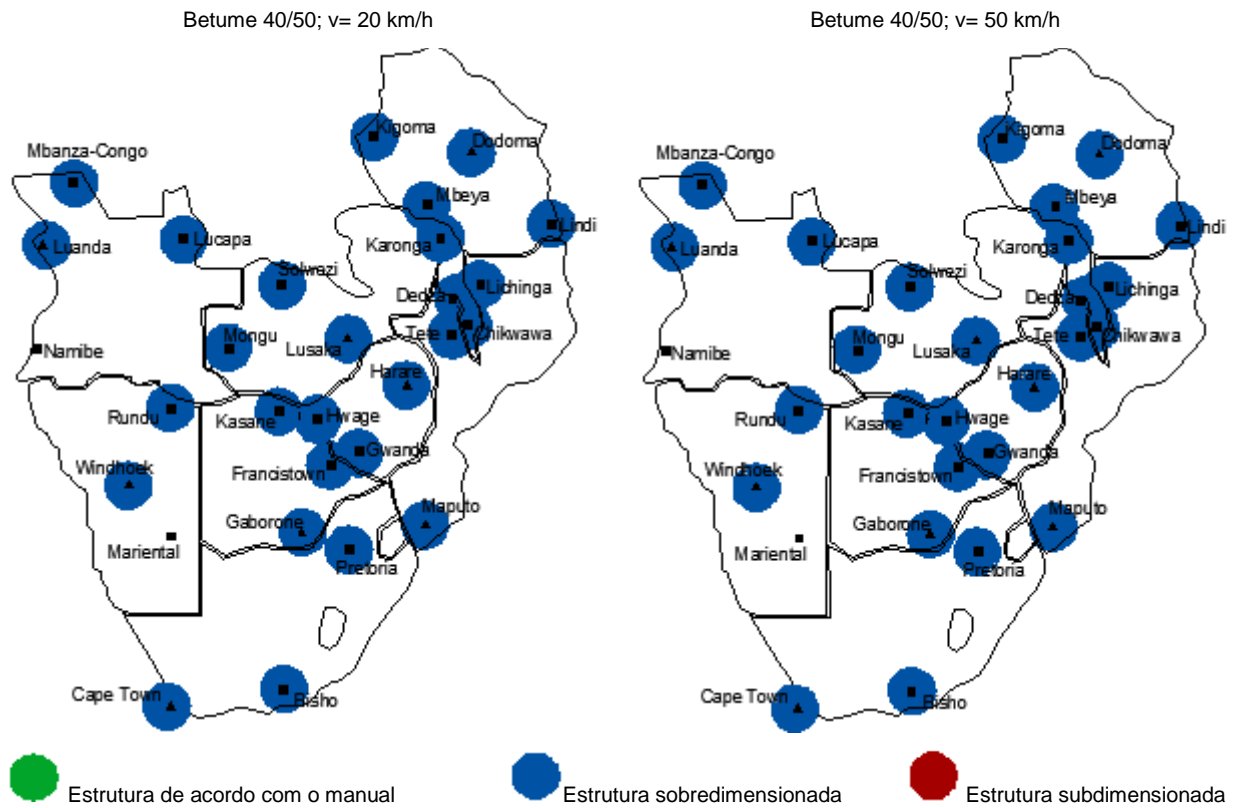


Figura 4.25 - Aplicabilidade do manual a estruturas do tipo W1, de classe de tráfego T7 e betume 40/50

Fazendo o mesmo dimensionamento para um betume ligeiramente mais mole, o betume 60/70, o número de eixos- padrão admissível diminui, passando algumas estruturas a estar de acordo com o manual do SATCC [1]. As estruturas que maiores variações sofrem são as estruturas correspondentes aos países mais quentes, como se observa na Figura 4.26

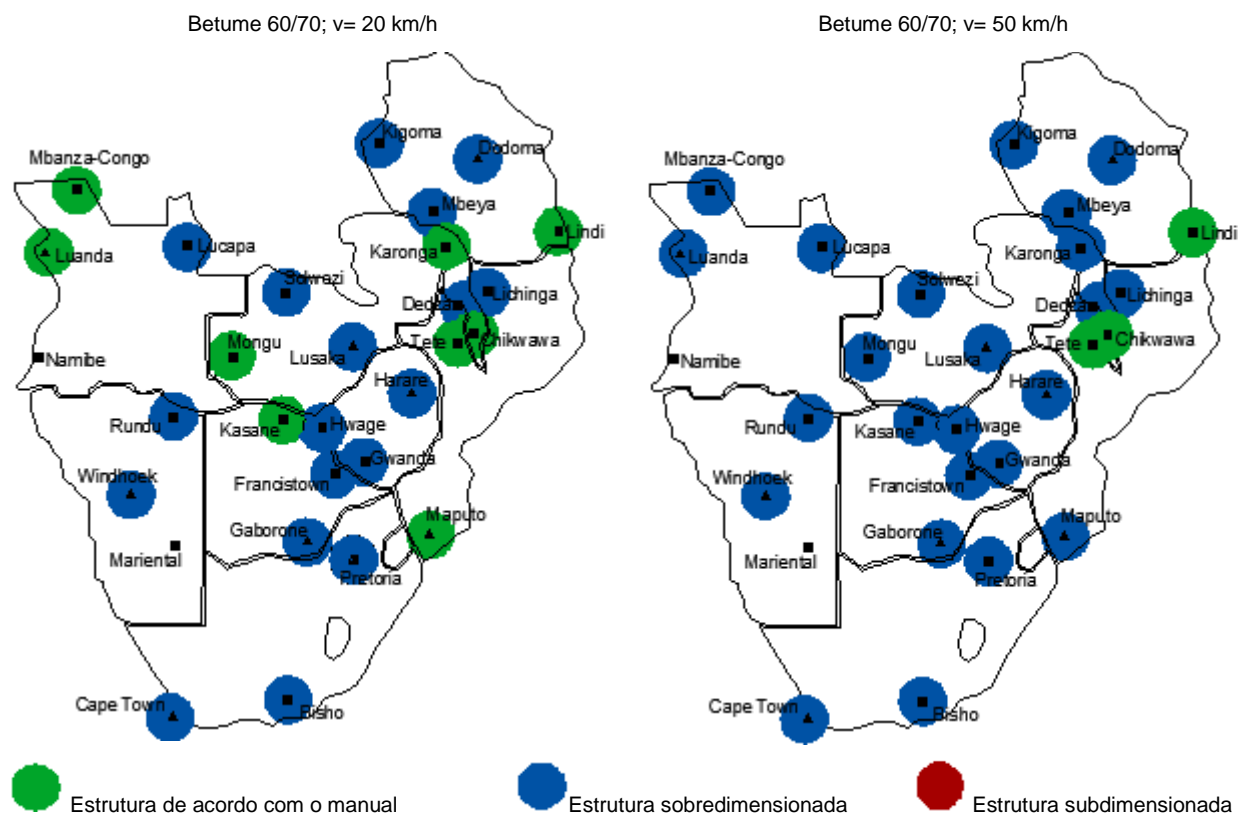


Figura 4.26 - Aplicabilidade do manual a estruturas do tipo W1, de classe de tráfego T7 e betume 60/70

Tal como referido anteriormente, as regiões que, em média têm a temperatura mais elevada apresentam uma maior variação do número de eixos padrão admissíveis, podendo mesmo, dependendo do betume, conduzir a uma estrutura sobredimensionada ou subdimensionada. Vejamos o caso da região de Tete (Moçambique) descriminado no gráfico da Figura 4.27

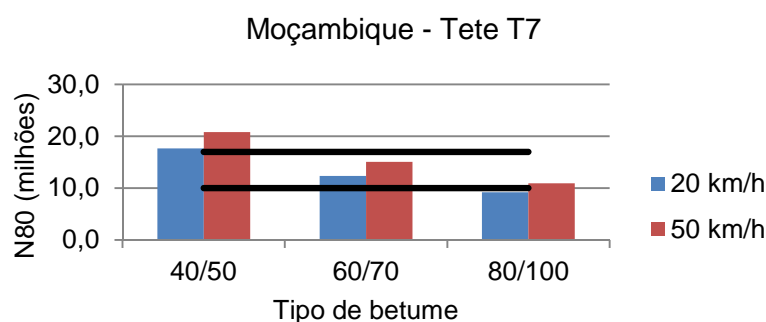


Figura 4.27 - Número acumulado de eixos-padrão para a estrutura W1 - T7 - S4 do grupo “Moçambique- Tete”

Para o betume 40/50, a estrutura encontra-se sobredimensionada para as duas velocidades consideradas. No entanto, utilizando um betume 80/100 esta já vai apresentar uma resistência deficiente. Neste caso a melhor solução seria optar por um betume 60/70.

De forma semelhante para outras localidades, o número de eixos padrão acumulados diminui com o aumento da penetração do betume, validando a aplicabilidade do manual para certas estruturas como se observa na Figura 4.28.

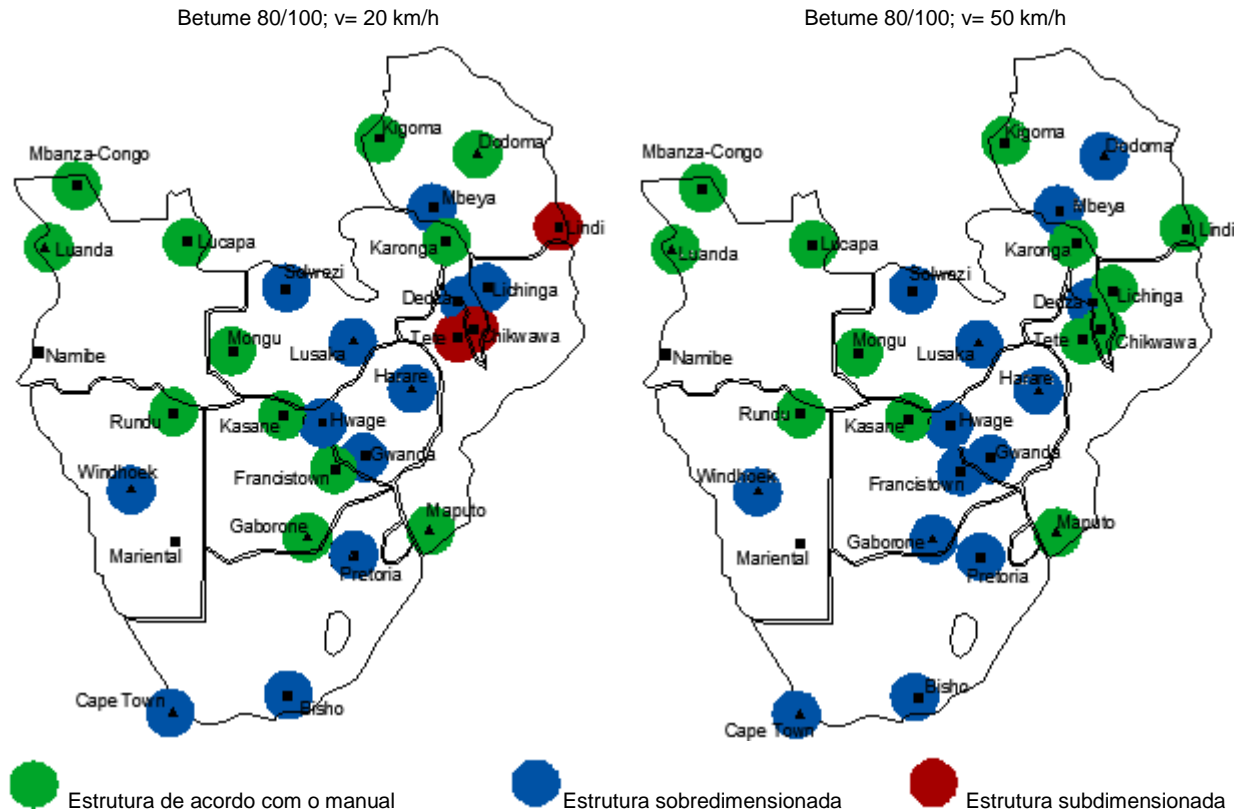


Figura 4.28 - Aplicabilidade do manual a estruturas do tipo W1, de classe de tráfego T7 e betume 80/100

4.7.1.6 Classe de tráfego T8

A classe de tráfego T8, a mais alta estipulada pelo SATCC [1], é definida para valores entre 17 e 30 milhões de eixos-padrão.

Para as estruturas de pavimento propostas pelo manual (150 mm de camada betuminosa, 200 mm de camada de base granular e 225 mm de sub-base granular) serem capazes de suportar tantas passagens de veículos ao longo da sua vida útil é necessário ter bastante atenção, na escolha do betume.

Como se observa da Figura 4.29, para um betume 40/50, e independentemente da seleção da velocidade, todas as estruturas se encontram sobredimensionadas, chegando mesmo a atingir mais de quatro vezes o limite máximo do número de eixos padrão estipulado para esta classe de tráfego, como se observa na Figura 4.30.

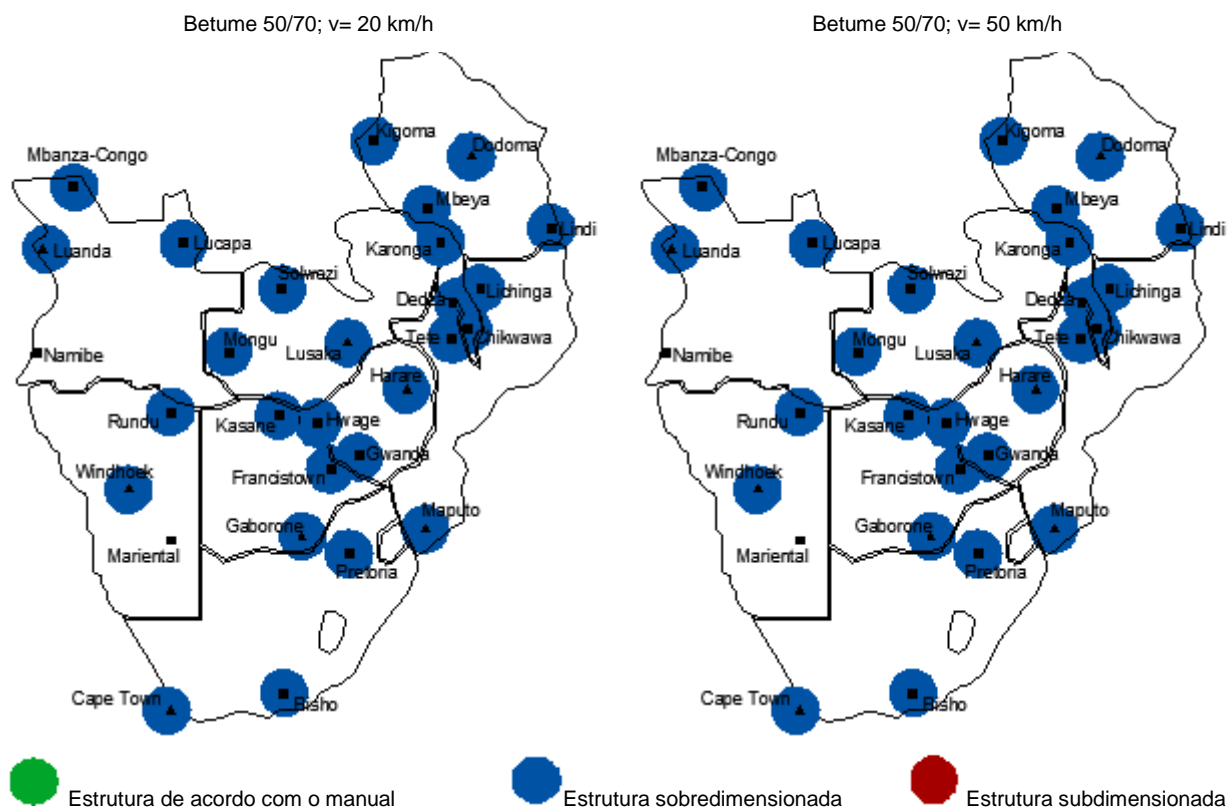


Figura 4.29 - Aplicabilidade do manual a estruturas do tipo W1, de classe de tráfego T8 e betume 40/50

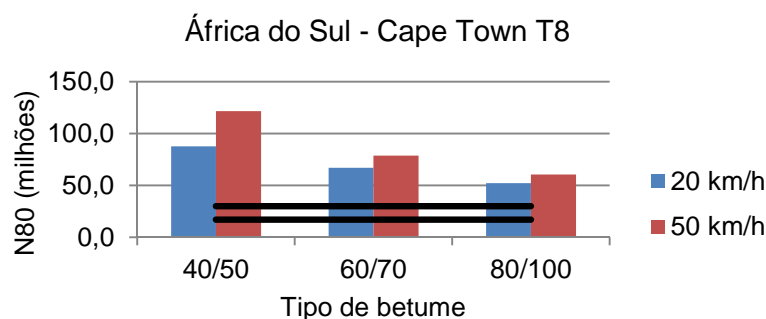


Figura 4.30 - Número acumulado de eixos-padrão para a estrutura W1 - T8 - S4 do grupo “Moçambique- Tete”

Como seria de esperar, as estruturas que apresentam menores valores para o número de eixos padrão admissível e que mais rapidamente atingirão a rotura, são as estruturas dos países mais quentes. Observando a Figura 4.31 é possível ver que são as únicas estruturas com o número de eixos padrão suficientemente baixo para estar de acordo com o manual sul-africano quando o betume utilizado é o betume 70/80 e a velocidade de circulação é 20 km/h. Todas as restantes encontram-se sobredimensionadas.

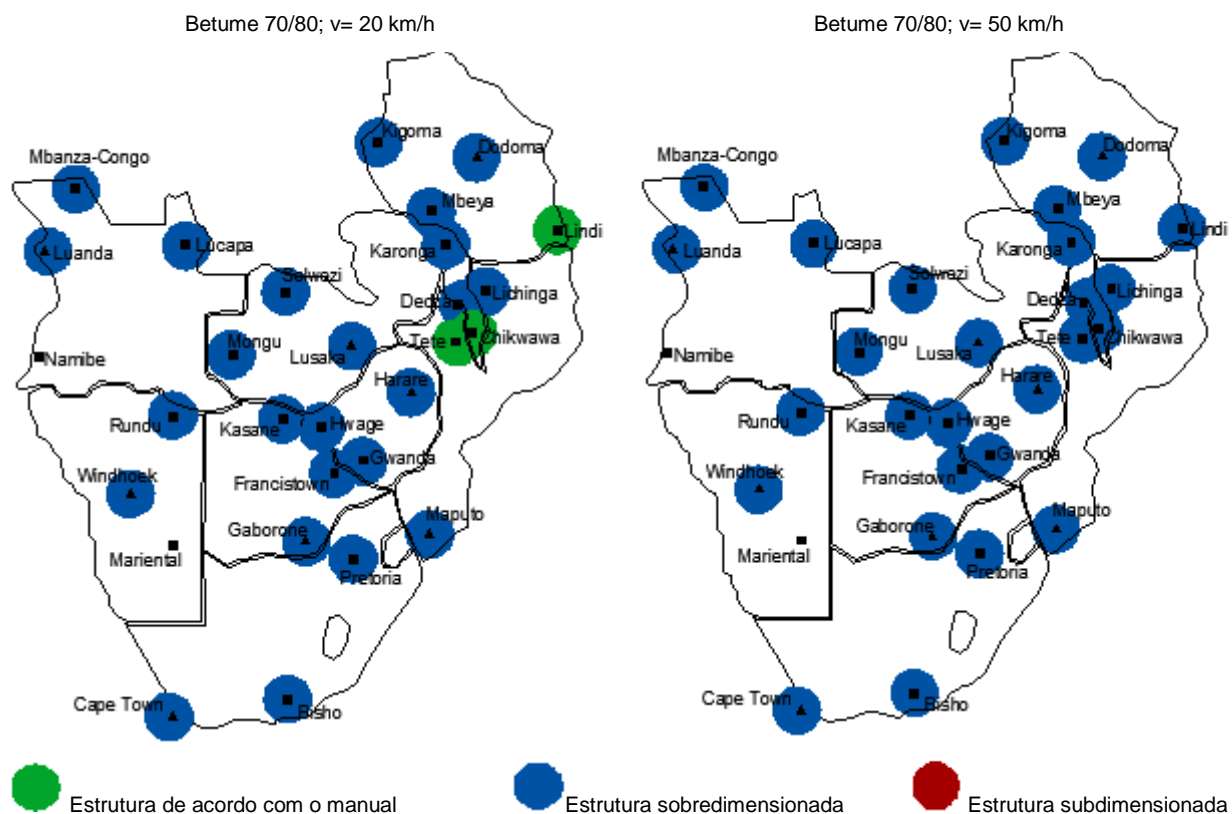


Figura 4.31 - Aplicabilidade do manual a estruturas do tipo W1, de classe de tráfego T8 e betume 70/80

Na Figura 4.32, observa-se os resultados obtidos para as estruturas compostas por betume 80/100.

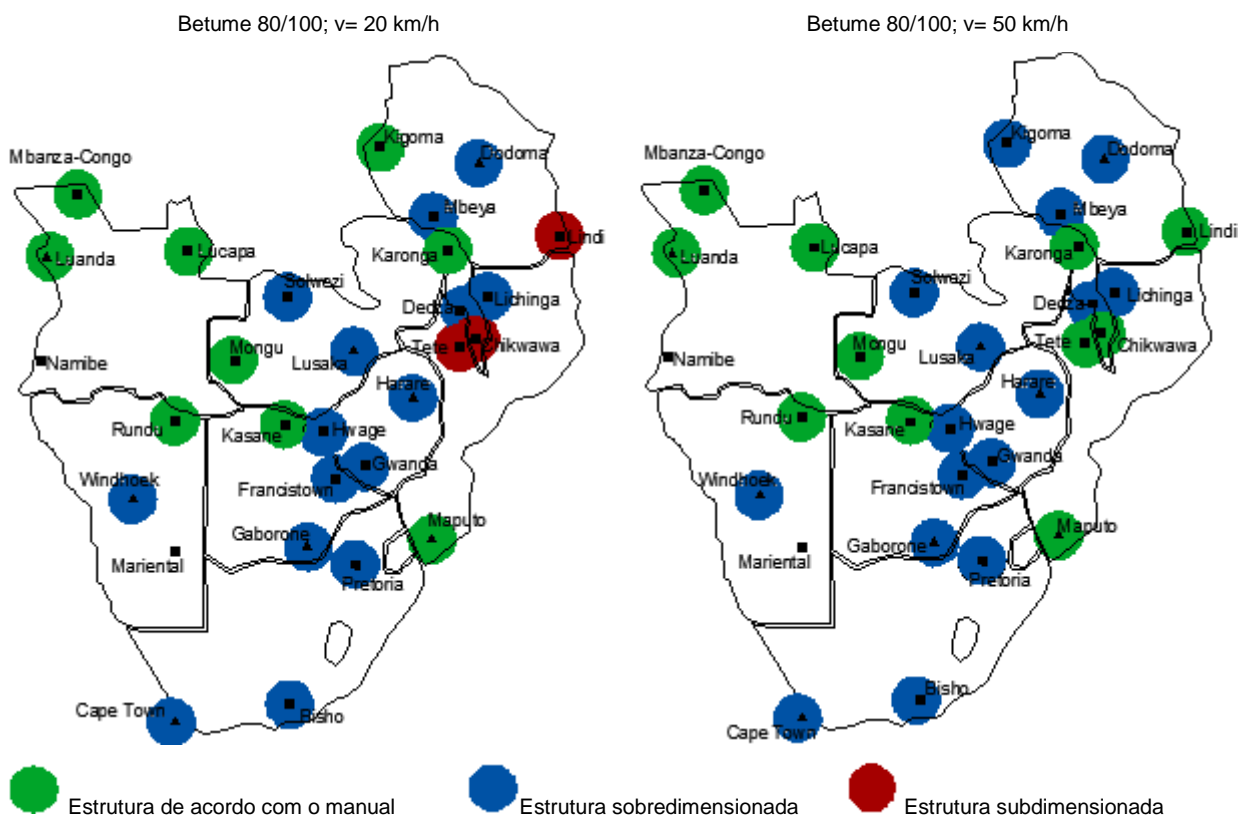


Figura 4.32 - Aplicabilidade do manual a estruturas do tipo W1, de classe de tráfego T8 e betume 80/100

Como seria de esperar o grupo de localizações situadas em regiões mais quentes, como é o caso do grupo “Moçambique – Tete”, encontram-se subdimensionadas com a utilização de o betume mole de penetração 80/100, a passo que, para regiões com temperaturas mais moderadas, como o grupo “África do Sul – Cape Town”, a estrutura ainda se encontra sobredimensionada de acordo com os parâmetros definidos, como se pode observar na Figura 4.33

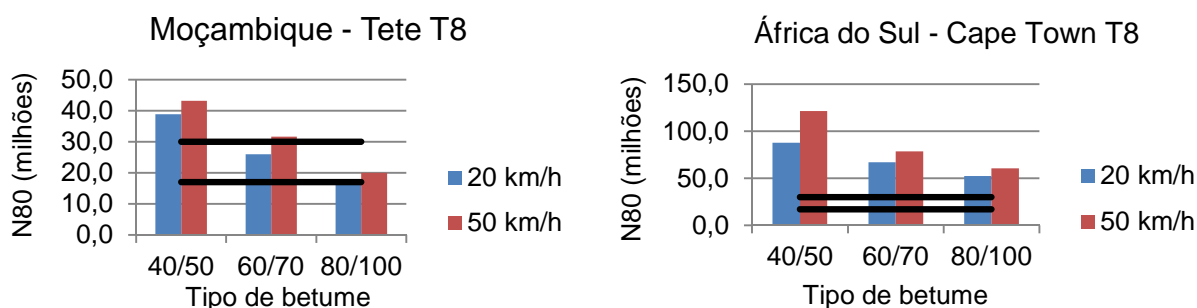


Figura 4.33 - Número acumulado de eixos-padrão para a estrutura W1 – T8 - S4 das localizações “Moçambique - Tete” e “África do Sul – Cape Town”

4.7.2 ESTRUTURAS DA REGIÃO D1 COM REVESTIMENTO BETUMINOSO A QUENTE

Apesar da grande maioria das localizações se encontrar em regiões climáticas consideradas húmidas, existem duas das localizações em estudo que apresentam uma precipitação inferior a 250 mm/ano, e portanto, são consideradas regiões climáticas secas, sendo representadas, segundo o manual da SATCC [1], pela denominação D1 (base granular e sub-base granular em regiões secas). Estas duas localizações são: Namibe (Angola) e Mariental (Namíbia) e fazem parte da zona árida e seca que constitui o deserto no Namibe.

À semelhança dos dados tratados para as estruturas W1, devido à quantidade de resultados (total de trinta e seis cálculos), também para as estruturas D1, a informação completa relativa às extensões definidas pelos critérios de ruína encontram-se em forma de tabelas apresentadas em anexo (ANEXO II).

No catálogo das estruturas D1, apenas as estruturas das classes de tráfego T6 a T8 apresentam revestimento betuminoso a quente e, de modo a facilitar a interpretação dos dados recolhidos, os resultados são apresentados em seguida, em forma de gráficos, para as diferentes classes de tráfego, tipos de betume e velocidade de circulação adotadas.

4.7.2.1. Classe de tráfego T6

Para uma classe de tráfego com um número de eixos padrão admissível entre 6 e 10 milhões de eixos-padrão e para uma estrutura D1, o número acumulado de eixos padrão, segundo os critérios de ruína definidos pela Shell, encontra-se representado na Figura 4.34.

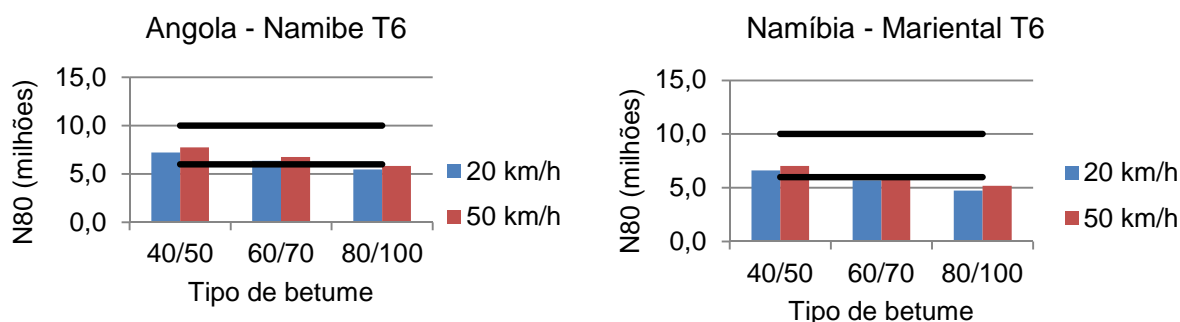


Figura 4.34 - Número acumulado de eixos-padrão para a estrutura D1 - T6 - S4 das localizações: Namibe (Angola) e Mariental (Namíbia)

Da Figura 4.34 observa-se que, à semelhança das estruturas definidas, para as regiões húmidas, utilizando betumes mais moles as estruturas D1 atingem a capacidade de carga para um menor número de eixos padrão do que o definido pelo manual – estruturas subdimensionadas.

4.7.2.2. Classe de tráfego T7

Dos resultados obtidos, para a estrutura de pavimento D1 e classe de tráfego T7, é possível concluir que, quanto maior a exigência estrutural do pavimento, ou seja, quanto maior for a classe de tráfego, mesmo utilizando um betume do tipo 60/70 e dimensionando o pavimento para uma velocidade de 50 km/h o número de eixos-padrão obtido fica aquém do definido pelo manual sul-africano, como se pode

observar através da Figura 4.35. Estas condições verificam para estruturas em regiões húmidas, mas para regiões secas, nem mesmo o betume 40/50 garante a resistência mínima, como se pode observar para a localização de Mariental.

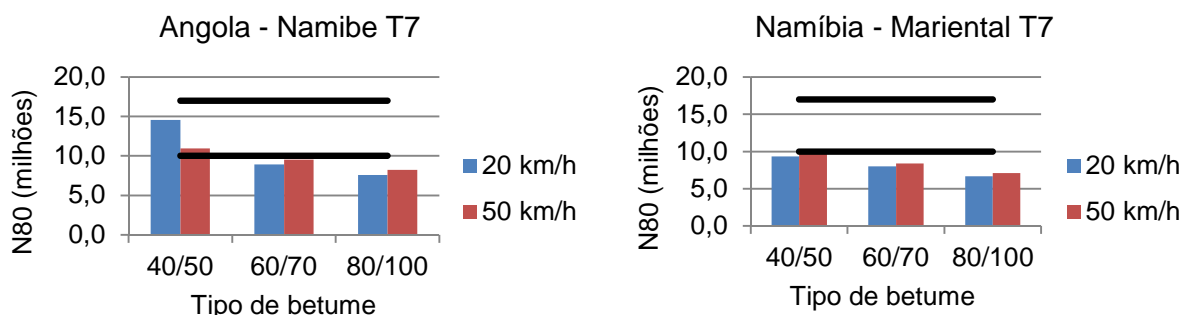


Figura 4.35 - Número acumulado de eixos-padrão para a estrutura D1 – T7 - S4 das localizações: Namibe (Angola) e Mariental (Namíbia)

4.7.2.3. Classe de tráfego T8

Para uma classe de tráfego T8 as estruturas propostas para Namibe e Mariental demonstram uma melhoria significativa para o tipo de betume 60/70, passando a cumprir a exigência estrutural mínima definida no manual da SATCC [1]. É de referir também que a rotura do pavimento acontece primeiro em localizações que apresentem temperaturas mais elevadas, como é o caso de Mariental.

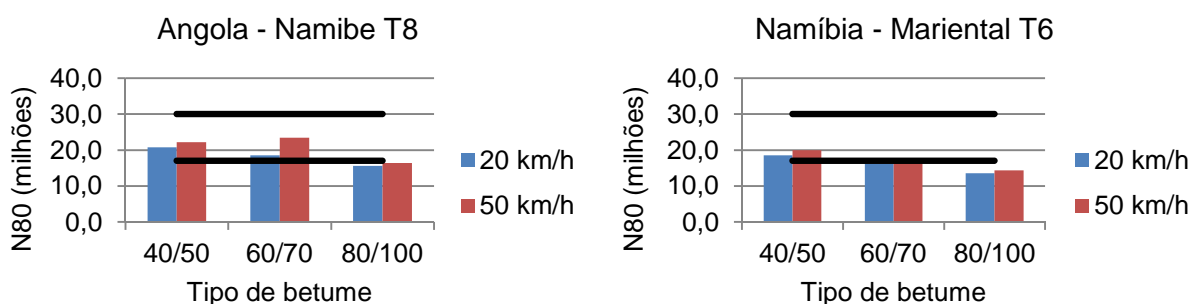


Figura 4.36 - Número acumulado de eixos-padrão para a estrutura D1 – T8 - S4 das localizações: Namibe (Angola) e Mariental (Namíbia)

4.7.3 ESTRUTURAS COM REVESTIMENTO BETUMINOSO A FRIO

No catálogo da SATCC [1], as estruturas de pavimento para a região D1, para as classes de tráfego de T1 a T5 e os pavimentos definidos para W1, para as classes de tráfego T1 e T2 são compostas por revestimentos betuminosos a frio.

Dado que o revestimento betuminoso a frio apresenta geralmente uma espessura muito fina, na maioria é usual esta camada se encontrar à compressão ao longo de toda a espessura, não havendo por isso necessidade de avaliar o critério de fadiga pela análise das extensões de tração na base da camada betuminosa. Na eventualidade de existir extensões de tração na base desta camada, os seus valores seriam muito baixos não constituindo a extensão mais desfavorável para o cálculo do número acumulado de eixos padrão admissível para o pavimento em causa.

Uma vez que o manual da SATCC [1] não indica valores para a espessura do revestimento betuminoso a considerar para as estruturas de pavimento referidas e, não sendo possível determinar o seu módulo

de deformabilidade pelas expressões empíricas, foi feito um estudo com o programa BISAR, para as classes de tráfego T1 e T4 das estruturas D1, para analisar a influência da espessura do revestimento betuminoso a frio e do módulo de deformabilidade deste na, extensão vertical de compressão no topo da camada de fundação (critério de deformação permanente). Com base nos resultados, define-se, depois, a espessura e o módulo de deformabilidade a considerar para o revestimento betuminoso a frio para as estruturas de pavimento referidas.

No Figura 4.18 apresentam-se os resultados obtidos, para a classe de tráfego T1, para as estruturas da região D1, para espessuras de revestimento betuminoso a frio de 30 mm e 50 mm, e para os módulos de deformabilidade de 500, 1000 e 2000 MPa. Com os resultados obtidos é calculada a variação média da capacidade de carga em relação à definida para o módulo de deformabilidade de 1000 MPa.

Quadro 4.18 - Determinação do número acumulado de eixos-padrão de uma estrutura D1 com revestimento betuminoso a frio para classe de tráfego T1

T1	e = 50 mm			e = 30 mm		
	Módulo de deformabilidade (MPa)			Módulo de deformabilidade (MPa)		
	500	1000	2000	500	1000	2000
ε_{dp}	-8,22E-04	-7,87E-04	-7,53E-04	-8,42E-04	-8,11E-04	-7,82E-04
N_{80} (milhões de eixos-padrão)	0,43	0,51	0,60	0,39	0,45	0,52
Variação em relação à média (%)	16,0	-	16,2	13,9	-	13,6

No Quadro 4.19, são apresentados os resultados para a classe de tráfego T4

Quadro 4.19 - Determinação do número acumulado de eixos-padrão de uma estrutura D1 com revestimento betuminoso a frio para classe de tráfego T4

T4	e = 50mm			e = 30mm		
	Módulo de deformabilidade (MPa)			Módulo de deformabilidade (MPa)		
	500	1000	2000	500	1000	2000
ε_{dp}	-6,10E-04	-5,80E-04	-5,53E-04	-6,24E-04	-5,99E-04	-5,74E-04
N_{80} (milhões de eixos-padrão)	1,40	1,72	2,08	1,28	1,51	1,79
Variação em relação à média (%)	18,3	-	17,4	15,1	-	15,7

Como se pode observar da análise dos quadros Quadro 4.18 e Quadro 4.19, para a mesma classe de tráfego e o mesmo módulo de deformabilidade, a espessura da camada não faz variar significativamente o número acumulado de eixos padrão.

Adotando um valor médio de 1000 MPa para as misturas a frio, verifica-se que a variação do número de eixos-padrão nunca ultrapassa os 20% para variações do módulo de deformabilidade de - 50% (500 MPa) e + 100% (2000 MPa). Deste modo, para os cálculos seguintes, optou-se por um módulo de deformabilidade constante de 1000 MPa, para as estruturas de pavimento das classes de tráfego de T1 a T4, da região D1.

Quanto à espessura do revestimento betuminoso das estruturas de pavimento em causa, considerando-se a espessura de 50 mm e o módulo de deformabilidade de 1000 MPa, verifica-se que, para a classe de tráfego T1 (número de eixos padrão inferior a 0,3 milhões), a estrutura se encontra ligeiramente sobredimensionada. No entanto para a classe de tráfego mais exigente como T4 (entre 1,5 a 3 milhões de eixos-padrão), o pavimento já está se encontra dentro dos valores definidos pelo manual da SATCC [1].

Fazendo o mesmo exercício para uma espessura de 30 mm, a capacidade de carga de uma estrutura de classe de tráfego T4 revela um acumulado de eixos-padrão aquém da capacidade mínima considerada no manual sul-africano.

Conclui-se, portanto, que para as estruturas da região D1e considerando o módulo de deformabilidade de 1000 MPa, a espessura do revestimento betuminoso a frio que mais se aproxima do definido pelo manual da SATCC é a espessura de 50 mm.

Para as estruturas de pavimento da região W1, adotou-se os mesmos valores para a espessura e para o módulo de deformabilidade do revestimento superficial.

No Quadro 4.20, apresenta-se o número acumulado de eixos-padrão para as estruturas do tipo W1 e classes de tráfego T1 e T2.

Quadro 4.20 - Determinação do número acumulado de eixos-padrão para as estruturas W1 - T1 e T2

Classe de Tráfego	ε_{dp}	N_{80} (milhões de eixos padrão)	Variação (%)	Classes de tráfego após cálculo
T1	-7,08E-04	0,8	+61,24	T3
T2	-4,59E-04	4,4	+84,02	T5

De acordo com os resultados obtidos para as condições referidas anteriormente ($E = 1000\text{MPa}$ e $e = 50\text{ mm}$), verifica-se que as estruturas para as classes de tráfego definidas pelo manual para as classes T1 e T2 encontram-se sobredimensionadas. Redefinindo as classes de tráfego, elas seriam T3 e T5, respetivamente, para os casos de classes iniciais de T1 e T2.

O mesmo se verifica para as estruturas de classe de tráfego T1 e T2 em ambientes secos (estrutura de pavimento D1), tal como se observa no Quadro 4.21. Verifica-se, pela análise do Quadro 4.21, que a variação em relação ao limite máximo das classes de tráfego definidas pelo manual sul-africano não é tão elevada para as regiões húmidas e que, para as classes de tráfego a partir de T3, as estruturas apresentam uma resistência de acordo com o previsto pelo manual.

Quadro 4.21 - Determinação do número acumulado de eixos-padrão para as estruturas D1 - T1 a T5

Classe de Tráfego	ε_{dp}	N_{80} (milhões de eixos padrão)	Variação (%)	Classes Tráfego após cálculo
T1	-7,87E-04	0,51	+40,82	T2
T2	-7,08E-04	0,77	+9,56	T3
T3	-6,38E-04	1,17	-	T3
T4	-5,80E-04	1,72	-	T4
T5	-4,27E-04	5,85	-	T5

4.7.4 ANÁLISE SÍNTESE

Nesta seção da tese, faz-se uma síntese sobre a influência da localização, influência do betume utilizado e influência da velocidade de circulação no pré-dimensionamento de pavimentos segundo o manual sul-africano

4.7.4.1. Influência da localização

Os resultados obtidos permitem concluir que a resistência do pavimento, em termos de número de eixos padrão admissíveis varia com a temperatura de serviço, logo com a localização. Em localidades com temperaturas mais elevadas, como é o caso de Tete (Moçambique) a rotura do pavimento é atingida para um volume de tráfego acumulado menor ao definido no manual sul-africano. O contrário se verificou para zonas de temperatura mais moderada como é o caso de Cape Town (África do Sul).

4.7.4.2. Influência do betume utilizado

A partir dos resultados obtidos foi possível avaliar também a influência do tipo de betume (e consequentemente da sua rigidez) na capacidade estrutural dos pavimentos para as localizações estudadas. A escolha de um betume mais mole para uma estrutura cuja capacidade de carga se encontra dentro dos limites estipulados para determinada classe de tráfego e betume mais duro, passe a não se enquadrar nessa mesma classe. Isto vem indicar que, para localizações com temperaturas muito elevadas, a utilização de betumes demasiado moles deve ser evitada, uma vez que atinge a rotura para um menor número de eixos-padrão. Deste modo, se possível deverá ser dada preferência a betumes mais duros.

Assim, especial cuidado deve ser tido em conta na definição do tipo de betume a utilizar para as estruturas de pavimento.

De acordo com os resultados obtidos para as vinte e nove localizações (depois divididos por grupos de localizações) foi possível obter um conjunto de gráficos, que se encontram no ANEXO IV, onde se indica o número de eixos-padrão admissíveis para todos os conjuntos de estruturas, para as várias classes de tráfego, tipos de betume e velocidades analisadas.

Da observação desses gráficos, salienta-se que o betume mais mole (betume de penetração 80/100) é o betume que menos se adequa às condições definidas pelo manual da SATCC [1], apresentando muitas vezes uma capacidade insuficiente e muito inferior ao limite mínimo da classe de tráfego preconizada, como se pode observar no caso apresentado no gráfico da Figura 4.37.

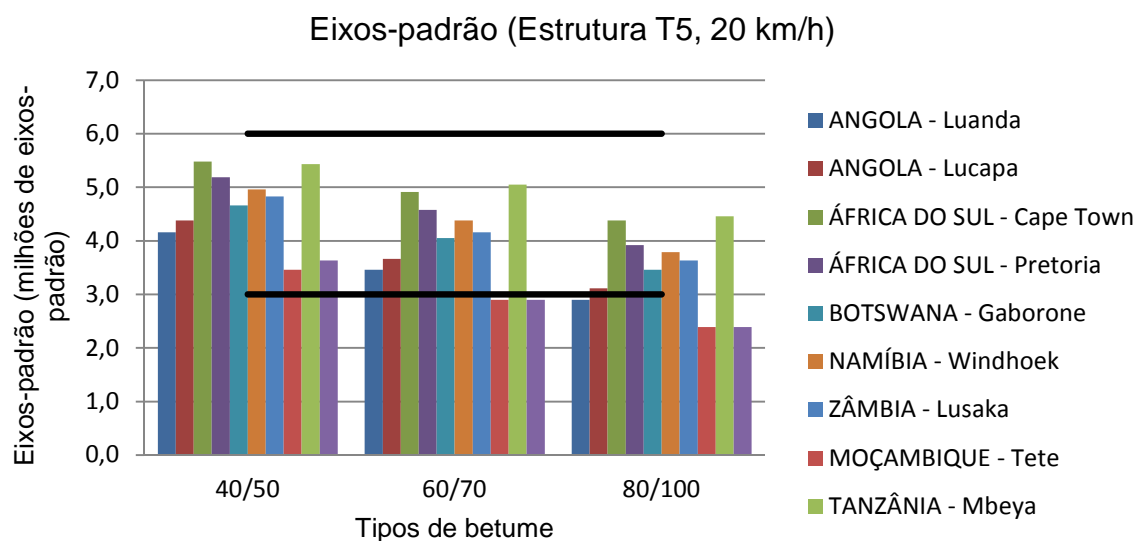


Figura 4.37 - Número acumulado de eixos-padrão de uma estrutura W1 e classe de tráfego T5 para uma velocidade de 20 km/h

4.7.4.3. Influência da velocidade de circulação

Pavimentos dimensionados para velocidade de circulação superior, revelam, na sua maioria, uma resistência estrutural maior, uma vez que o tempo de contacto entre o veículo e o pavimento é menor.

É de referir que, neste estudo foram analisadas duas velocidades de circulação: 20 km/h e 50 km/h. Na realidade, o dimensionamento de uma estrutura de pavimento deve ser feito para uma velocidade considerada média de circulação de veículos pesados, pelo que poderá não ser representativo considerar a velocidade de 20 km/h dado que, neste caso, os veículos pesados se encontrariam quase sempre parados ou em filas de trânsito. Desta forma, parece-nos que a velocidade 50 km/h está próxima da realidade.

4.7.4.4. Relação velocidade/tipo de betume

Qual a relação velocidade/ tipo de betume que mais se adequa às estruturas apresentadas no catálogo do manual sul-africano?

De acordo com estudo realizado para estruturas W1 dimensionadas para a velocidade de 50 km/h, além de todas as estruturas de pavimento apresentarem maior número de eixos-padrão do que se verificava para uma velocidade de 20 km/h, verificou-se que a utilização de um betume 60/70 mostrou ser suficiente para garantir a capacidade mínima de carga estipulada para todas as classes de tráfego, tal como se observa no caso apresentado na Figura 4.38. Uma vez que é conhecida a dificuldade de ter disponíveis betumes de penetrações muito baixas nos países em estudo, o betume 60/70 parece ser a solução mais adequada.

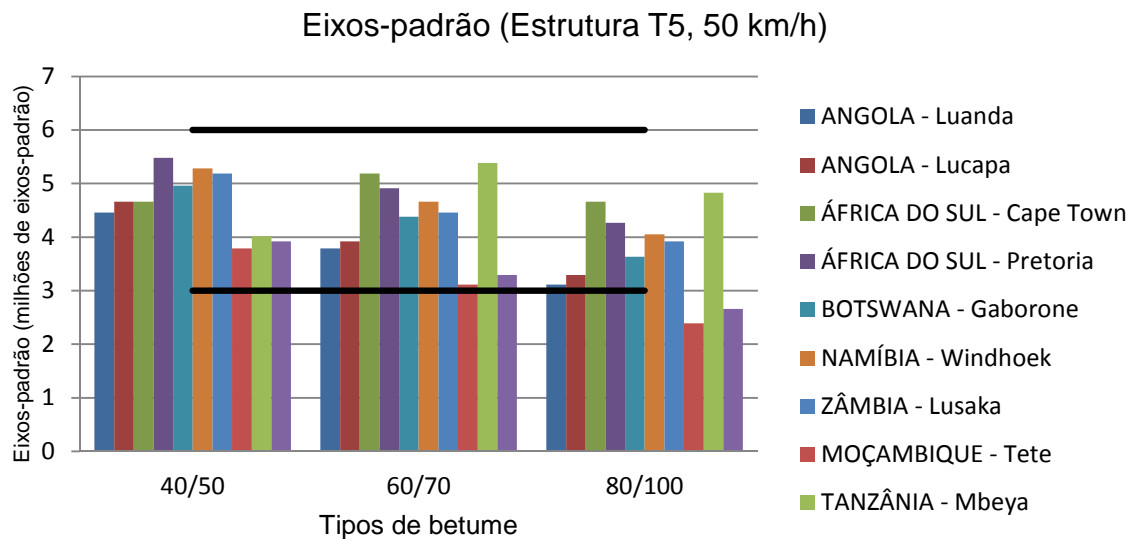


Figura 4.38 - Número acumulado de eixos-padrão de uma estrutura W1 e classe de tráfego T5 para uma velocidade de 50 km/h

Quanto a estruturas em condições climáticas secas é possível concluir que mesmo utilizando um betume do tipo 60/70 e dimensionando o pavimento para uma velocidade de 50 km/h a capacidade de carga obtida fica aquém do expectável. Para regiões secas o betume que deverá ser utilizado será o mais rijo, e por isso o 40/50.

4.7.4.5. Estrutura de pavimento D1 e estrutura W1

Outra conclusão que se pode retirar do estudo efetuado é que, para a mesma classe de tráfego e para regiões com temperaturas médias muito semelhantes, a estrutura de um pavimento do tipo W1 apresenta uma maior resistência estrutural que uma estrutura de pavimento do tipo D1, como se pode observar no caso apresentado na Figura 4.39. Esta diferença dever-se-á principalmente à maior espessura total de uma estrutura de pavimento húmida.

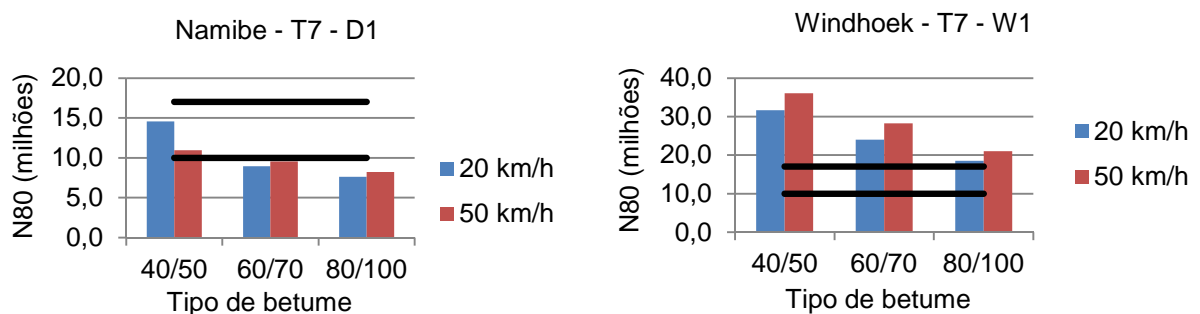


Figura 4.39 - Variação da capacidade de carga em função do tipo de estrutura de pavimento

Em suma, as conclusões deste estudo, para as estruturas D1 e W1, são:

- a aplicação do manual a todos os países africanos pode não ser o procedimento mais correto;
- a consideração de classes de tráfego superiores conduzem a maiores capacidades de carga do pavimento;
- a consideração de maiores velocidades de circulação geralmente conduzem a capacidades de carga (número de eixos-padrão acumulado) maiores;
- a utilização de diferentes tipos de betume para as mesmas condições revela capacidades de carga diferentes, podendo, em certos casos fazer com que uma estrutura admissível (com capacidade dentro da classe prevista) passe a não se enquadrar na mesma classe de tráfego;
- a utilização de betumes moles revela uma precoce ruína do pavimento para localizações com temperaturas muito elevadas, não chegando por vezes a atingir o limite mínimo espectral;
- a consideração da velocidade de 20 km/h em conjunto com o betume 60/70 não revelou ser suficiente para conseguir a capacidade de carga mínima;
- as estruturas de pavimento W1 do catálogo da SATCC [1] mostraram não apresentar problemas do ponto de vista estrutural, em todas as localidades em estudo, quando o dimensionamento é feito para uma velocidade de 50km/h e um betume de penetração 60/70;
- a partir da classe de tráfego T7, todas as estruturas W1 se encontram sobredimensionadas quando se utiliza um betume 40/50;
- em condições idênticas, a capacidade de carga de uma estrutura D1 (regiões secas) é menor do que uma estrutura W1;
- a capacidade de carga desejável para estruturas do tipo D1 apenas é garantida com a utilização de um betume de penetração 40/50;
- com um módulo de deformabilidade de 1000 MPa e uma espessura de 50 mm de revestimento betuminoso a frio, verifica-se o pressuposto estipulado pelo manual da SATCC.

4.8 CONCLUSÕES

O presente capítulo teve como objetivo avaliar a aplicabilidade do catálogo de estruturas D1 e W1 de pavimentos rodoviários apresentado no manual de dimensionamento da SATCC [1] em vinte e nove localizações diferentes e com diferentes condições climáticas, para uma classe de fundação S4 e para três tipos de betume e duas velocidades diferentes.

Do estudo realizado foi possível concluir que a aplicação transversal a todos os países do continente africano pode não ser o procedimento mais adequado, embora este documento seja uma referência importante.

Refere-se que este manual apresenta linhas de orientações técnicas bastante úteis, sendo que a sua utilização não deverá ser ignorada em projetos rodoviários nesta região geográfica, contudo alguns aspetos deverão ser tidos em conta.

De uma forma geral, pode concluir-se que, para as estruturas de pavimento definida para as regiões climáticas húmidas com base e sub-base constituída por material granular (estruturas W1) e revestimento de betão betuminoso com betume 60/70 ou inferior, a proposta de pré-dimensionamento

indicada no manual da SATCC [1] será válida para velocidades de circulação iguais ou superiores a 50 km/h.

No caso de estruturas de pavimentos em regiões secas (estruturas D1), tendo em conta os parâmetros definidos neste trabalho, verificou-se que as estruturas de pavimentos apresentadas no catálogo do manual da SATCC [1] apresentam uma resistência, em termos de número acumulado de eixos padrão admissíveis inferior à esperável, apenas verificando-se a aplicabilidade do manual para estruturas dimensionadas com betume 40/50.

4.8.1 CONSIDERAÇÕES

Uma vez que o manual da SATCC [1] não indica metodologias para a estimativa das características dos materiais de pavimentação, no estudo apresentado ao longo deste capítulo, algumas considerações tiveram que ser feitas a fim de ser possível o cálculo da capacidade de carga das estruturas D1 e W1, e assim verificar a aplicabilidade deste manual aos vários países sul-africanos.

No, cálculo do módulo de deformabilidade das misturas betuminosas, tanto o método da Shell como o método de Nottingham podem ser aplicados, quando o betume apresenta uma rigidez superior a 5 MPa, situação que nem sempre se verificou, o que obrigaria à definição do módulo de deformabilidade por outras metodologias, como por exemplo o recurso a ensaios experimentais.

Neste trabalho, foi adotado para a estimativa do módulo de deformabilidade das misturas betuminosas o método da Shell. No entanto, caso o método escolhido para definir o módulo de deformabilidade tivesse sido o método de Nottingham em detrimento do método da Shell, os valores obtidos para a capacidade de carga das estruturas teriam sido maiores, e portanto, estaria do lado da segurança.

Refere-se ainda que caso se tivesse analisado o betume normalizado 50/70 em detrimento do betume utilizado 60/70, a capacidade de carga da seria superior para este betume e portanto estaria também do lado da segurança.

Em suma, refere-se que, no dimensionamento de um pavimento, o pré-dimensionamento obtido com a utilização deste manual deverá ser complementado por uma análise empírico-mecanicista, considerando fatores como a temperatura e o tipo de betume disponível, de forma a confirmar a estrutura proposta e ir de encontro ao pretendido no projeto.

5

CONCLUSÕES E PERSPETIVA PARA INVESTIGAÇÃO FUTURA

5.1 OBJETIVOS ATINGIDOS E CONCLUSÕES GERAIS

Esta dissertação teve como primeiro objetivo, a análise e descrição sintetizada das metodologias de cálculo, dos principais manuais de dimensionamento de estruturas de pavimentos utilizados em África e na América do Sul.

No capítulo 2, analisaram-se os manuais africanos SATCC e CEBTP. A particularidade destes manuais utilizados em África é que a sua utilização é generalizada para vários países diferentes e com condições muito diferentes. Sendo o primeiro manual utilizado nos países do sul de África e o manual CEBTP utilizado em toda a zona equatorial de África.

Da análise destes manuais, descrita no capítulo 2 conclui-se o seguinte:

- ambos os manuais apresentam classes de tráfego e classes de fundação na definição da estrutura de pavimento;
- o manual CEBTP não tem em conta as condições climáticas existentes na definição da estrutura de pavimento;
- apesar de mais antigo o manual CEBTP parece ser mais completo do que o manual sul-africano, sobretudo na parte referente caracterização mecânica dos materiais;
- o manual do SATCC apresenta a informação de uma forma muito simplificada, omissa em certos casos;
- as estruturas de pavimentos do manual da SATCC são mais adequadas ao tipo de tráfego, visto apresentar 8 classes de tráfego contra apenas 5 classes do manual CEBTP e com um intervalo de valores muito mais alargado;
- o manual que representa a África francófona considera dois tipos de eixos-padrão, um de 82 kN e outro de 130 kN, enquanto que, o outro manual apenas consider um eixo padrão de 80 kN;

À semelhança do capítulo 2, o terceiro capítulo tinha como objetivo analisar e comparar os manuais da América Latina. Ao contrário dos manuais de África, os manuais sul-americanos foram elaborados para cada país e não para um conjunto de países.

Da análise do capítulo 3 concluiu-se que:

- dos manuais em estudo, apenas o manual brasileiro não apresenta um catálogo de estruturas de pavimentos;

- nem todos os manuais de dimensionamento consideram os mesmos parâmetros de entrada para o dimensionamento de estruturas de pavimento;
- existem manuais bem detalhados como o *Manual de Carreteras* [5] enquanto que noutros manuais como o DNER [6] a informação é muito escassa ou mesmo inexistente;

No quarto capítulo, apresenta-se um estudo sobre a aplicabilidade do manual do SATCC a diferentes países africanos. O estudo realizado permite concluir que:

- a aplicação transversal a todos os países do continente africano não é o procedimento mais adequado, embora seja uma referência importante;
- o manual da SATCC mostra ter alguma viabilidade, dependendo do tipo de estruturas de pavimento dimensionadas, da classe de fundação adotada e do tipo de betume escolhido.

5.2 PERSPETIVA PARA INVESTIGAÇÃO FUTURA

Apresenta-se, de seguida, algumas perspetivas de investigação que poderão dar continuidade, em trabalhos futuros, à investigação apresentada neste trabalho.

Relativamente ao manual SATCC [1] em estudo no presente trabalho, propõe-se:

- análise de um maior número de localizações de cada país, de forma a obter um catálogo de estruturas próprio para cada país;
- análise das estruturas D2, D3 e D4 para as regiões climáticas secas e das estruturas W2, W3 e W4 para as regiões consideradas húmidas;
- análise das estruturas apresentadas no manual da SATCC [1] para as várias classes de fundação;
- elaboração de um programa automatizado com indicação direta da estrutura de pavimento a adotar mediante a introdução de dados como: localização da obra, tráfego acumulado, classe de fundação, tipo de betume ou velocidade de circulação

Relativamente aos restantes manuais de dimensionamento abordados:

- avaliar a aplicabilidade do manual CEBTP [2] aos países da África francófona;
- avaliar a aplicabilidade do manual DNER [6] a todos os estados do Brasil;

BIBLIOGRAFIA

1. CSIR, SATCC - *Draft - Code of Practice for the Design of Road Pavements*. 2001.
2. Publics, C.-C.E.d.R.e.d.É.d.B.e.d.T., *Guide Pratique de Dimensionnement des Chaussées pour les Pays Tropicaux* 1984.
3. Vias, I.-I.N.d., *Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos en Vías con Medios y Altos Volumen de Tránsito*. 1998.
4. Técnicos, S.d.C.y.T.-D.G.d.S., *Catálogo de Secciones Estructurales de Pavimentos para las Carreteras de la República Mexicana*. 2011.
5. Ferrocarriles, M.-D.G.d.C.y., *Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos*, in *Manual de Carreteras*. 2013: Lima.
6. Rodoviárias, M.-D.-I.d.P., *Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis*. 1981.
7. Transport, D.o., *Technical Recommendations for Highways - Draft TRH4*, in *Structural design of flexible pavements for inter-urban and rural roads*. 1996: Pretoria, South Africa.
8. SATCC, *Standard Specifications for Road and Bridge Works* 1998: Maputo, Moçambique.
9. Marce, J. and C. Freeme, *The mechanistic design method used to evaluate the pavement structures in the catalogue of the draft TRH4* 1980. 1981.
10. (Sabita), S.A.B.A., *Draft guideline on the use of bitumen emulsion treated materials*. 1998: Cape Town, SA.
11. AASHTO, *Guide for Design of Pavement Structure*. 1993, American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO): Washington D.C.
12. Shell International Petroleum Company, I., *Shell pavement design manual : asphalt pavements and overlays for road traffic*. 1978: London : Shell International Petroleum.
13. Corro, S., R. Magallanes, and G. Prado, *Instructivo para diseño estructural de pavimentos flexibles para carreteras*. Instituto de Ingeniería, UNAM, Series del Instituto de Ingeniería, Informe, 1981. 444.
14. Brown, E. and K.Y. Foo, *Evaluation of variability in resilient modulus test results (ASTM D 41 23)*. 1989.
15. *Norma N-CMT-4-05 Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas*, in *Características de los Materiales*. 2002.
16. RICO RODRIGUEZ, A., et al., *Manual de calidad de los materiales en secciones estructurales de pavimentos carreteros*. documento técnico, 1991.
17. MTC, *Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción de Carreteras*, in *Manual de carreteras*. 2013: Lima, Perú.
18. Odoki, J. and H. Kerali, *Highway Development and Management (HDM-4) Volume 4: Analytical Framework and Model Descriptions*. the World Road Association (PIARC), Paris and the World Bank, Washington, DC, 2000.
19. Turnbull, W.J., C. Foster, and R. Ahlvin. *Design of flexible pavements considering mixed loads and traffic volume*. in *Intl Conf Struct Design Asphalt Pvmnts*. 1962.

20. Center, U., *Army Corps of Engineers*. Davis, California, 1976.
21. DER/SP, *Instrução de Projeto in Projeto de Pavimentação*. 2006: São Paulo, Brasil.
22. JAE, *Manual de Concepção de Pavimentos para a Rede Rodoviária Nacional*. 1995, Junta Autónoma de Estradas (JAE): Almada.
23. <http://www.weatherbase.com/>. 2015.
24. EN, C., 12591. *Bitumen and bituminous binders. Specifications for paving grade bitumens*. 2009, Comité Européen de Normalisation.
25. Afonso, J.a.G., L., *Pavimentos Rodoviários em África*, M.-E.E.e. Construção, Editor. 2010.
26. Ullidtz. P and Peattie, K.R., *Pavement Analysis by Programmable Calculators*. Vol. 106. 1980: ASCE Journal of Transportation Engineering.
27. Antunes, M., *Modelação do comportamento de pavimentos rodoviários flexíveis*. LNEC, Programa de Investigação e Programa de Pós-Graduação, Lisboa, 2005.

Anexos

Anexo I	TEMPERATURA MENSAL PONDERADA PARA AS LOCALIDADES EM ESTUDO
Anexo II	TRÁFEGO ADEQUADO (N_{80}), SEGUNDO OS DADOS RECOLHIDOS DO PROGRAMA BISAR PARA ESTRUTURAS DO TIPO D1
Anexo III	TRÁFEGO ADEQUADO (N_{80}), SEGUNDO OS DADOS RECOLHIDOS DO PROGRAMA BISAR PARA ESTRUTURAS DO TIPO W1
Anexo IV	NÚMERO ACUMULADO DE EIXOS PADRÃO PARA AS ESTRUTURAS DE PAVIMENTO D1 EM FUNÇÃO DA CLASSE DE TRÁFEGO, VELOCIDADE E TIPO DE BETUME ADOPTADO, PARA CADA LOCALIZAÇÃO - GRÁFICOS
Anexo V	NÚMERO ACUMULADO DE EIXOS PADRÃO PARA AS ESTRUTURAS DE PAVIMENTO W1 EM FUNÇÃO DA CLASSE DE TRÁFEGO, VELOCIDADE E TIPO DE BETUME ADOPTADO, PARA CADA LOCALIZAÇÃO - GRÁFICOS

ANEXO I: TEMPERATURA ANUAL PONDERADA PARA AS LOCALIDADES EM ESTUDO

Quadro I.1 – Temperatura anual ponderada para Luanda, Angola

Angola - Luanda	Região climática - húmida											
Meses	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Temperatura média mensal (°C)	25,0	26,0	26,0	26,0	24,0	22,0	20,0	20,0	21,0	23,0	24,0	25,0
W	1,80	2,10	2,10	2,10	1,60	1,30	1,00	1,00	1,20	1,40	1,60	1,80
$W_{\text{médio}}$	1,58											
Temperatura anual ponderada (°C)	23,9											

Quadro I.2 – Temperatura anual ponderada para M'Banza Congo, Angola

Angola- M'Banza Congo	Região climática - húmida											
Meses	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Temperatura média mensal (°C)	24,5	24,8	25,0	24,9	24,4	22,2	20,5	20,8	22,4	23,9	24,3	24,3
W	1,70	1,76	1,80	1,78	1,68	1,32	1,10	1,16	1,34	1,58	1,68	1,68
$W_{\text{médio}}$	1,55											
Temperatura anual ponderada (°C)	23,75											

Quadro I.3 – Temperatura anual ponderada para Lucapa, Angola

Angola- Lucapa	Região climática - húmida											
Meses	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Temperatura média mensal (°C)	23	23,4	23,5	23,6	23,4	22,0	22,1	23,7	24	24	23,3	23,3
W	1,40	1,48	1,50	1,52	1,48	1,30	1,31	1,54	1,60	1,60	1,46	1,46
$W_{\text{médio}}$	1,47											
Temperatura anual ponderada (°C)	23,35											

Quadro I.4 – Temperatura anual ponderada para Namibe, Angola

Angola - Namibe	Região climática - seca											
Meses	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Temperatura média mensal (°C)	22,0	24,0	24,0	22,0	20,0	17,0	16,0	17,0	18,0	19,0	21,0	21,0
W	1,30	1,60	1,60	1,30	1,00	0,63	0,54	0,63	0,72	0,83	1,20	1,20
$W_{\text{médio}}$	1,05											
Temperatura anual ponderada (°C)	20,25											

Quadro I.5 – Temperatura anual ponderada para Cape Town, África do Sul

África do Sul - Cape Town	Região climática - húmida											
Meses	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Temperatura média mensal (°C)	21,0	21,0	20,0	17,0	15,0	13,0	12,0	13,0	14,0	16,0	18,0	20,0
W	1,20	1,20	1,00	0,63	0,50	0,35	0,32	0,35	0,43	0,54	0,72	1,00
$W_{\text{médio}}$	0,69											
Temperatura anual ponderada (°C)	17,65											

Quadro I.6 – Temperatura anual ponderada para Pretoria, África do Sul

África do Sul - Pretoria	Região climática - húmida											
Meses	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Temperatura média mensal (°C)	23,0	23,0	21,0	18,0	16,0	12,0	12,0	15,0	19,0	21,0	21,0	22,0
W	1,40	1,40	1,20	0,72	0,54	0,32	0,32	0,50	0,83	1,20	1,20	1,30
$W_{\text{médio}}$	0,91											
Temperatura anual ponderada (°C)	19,45											

Quadro I.7 – Temperatura anual ponderada para Bhisbo, África do Sul

África do Sul - Bhisbo	Região climática - húmida											
Meses	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Temperatura média mensal (°C)	21,8	21,1	20,9	18,7	16,3	14,2	14,1	14,7	16	17,4	18,7	20,6
W	1,28	1,21	1,18	0,80	0,57	0,44	0,44	0,48	0,54	0,67	0,80	1,12
$W_{\text{médio}}$	0,79											
Temperatura anual ponderada (°C)	18,65											

Quadro I.8 – Temperatura anual ponderada para Gaborone, Botswana

Botswana - Gaborone	Região climática - húmida											
Meses	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Temperatura média mensal (°C)	26,0	25,0	24,0	21,0	17,0	13,0	13,0	17,0	21,0	23,0	25,0	25,0
W	2,10	1,80	1,60	1,20	0,63	0,35	0,35	0,63	1,20	1,40	1,80	1,80
$W_{\text{médio}}$	1,24											
Temperatura anual ponderada (°C)	21,4											

Quadro I.9 – Temperatura anual ponderada para Kasane, Botswana

Botswana - Kasane	Região climática - húmida											
Meses	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Temperatura média mensal (°C)	25,2	24,9	24,9	23,4	20,6	18,1	17,9	20,8	24,6	26,9	26,7	25,6
W	1,86	1,78	1,78	1,48	1,12	0,73	0,71	1,16	1,72	2,37	2,31	1,98
$W_{\text{médio}}$	1,58											
Temperatura anual ponderada (°C)	23,9											

Quadro I.10 – Temperatura anual ponderada para Francistown, Botswana

Botswana - Francistown	Região climática - húmida											
Meses	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Temperatura média mensal (°C)	25,0	25,0	23,0	21,0	18,0	15,0	15,0	18,0	22,0	24,0	25,0	25,0
W	1,80	1,80	1,40	1,20	0,72	0,50	0,50	0,72	1,30	1,60	1,80	1,80
$W_{\text{médio}}$	1,26											
Temperatura anual ponderada (°C)	21,6											

Quadro I.11 – Temperatura anual ponderada para Windhoek, Namíbia

Namíbia - Windhoek	Região climática - húmida											
Meses	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Temperatura média mensal (°C)	25,0	23,0	22,0	20,0	17,0	13,0	13,0	16,0	20,0	22,0	25,0	25,0
W	1,80	1,40	1,30	1,00	0,63	0,35	0,35	0,54	1,00	1,30	1,80	1,80
$W_{\text{médio}}$	1,11											
Temperatura anual ponderada (°C)	20,55											

Quadro I.12 – Temperatura anual ponderada para Rundu, Namíbia

Namíbia - Rundu	Região climática - húmida											
Meses	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Temperatura média mensal (°C)	25,0	25,0	24,0	22,0	19,0	16,0	16,0	19,0	24,0	26,0	26,0	26,0
W	1,80	1,80	1,60	1,30	0,83	0,54	0,54	0,83	1,60	2,10	2,10	2,10
$W_{\text{médio}}$	1,43											
Temperatura anual ponderada (°C)	23,15											

Quadro I.13 – Temperatura anual ponderada para Mariental, Namíbia

Namíbia - Mariental	Região climática - seca											
Meses	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Temperatura média mensal (°C)	27,6	26,7	24,9	21,0	17,0	13,2	13,1	15,3	19,0	22,2	25,0	27,0
W	2,58	2,31	1,78	1,20	0,63	0,37	0,36	0,51	0,83	1,32	1,80	2,40
$W_{\text{médio}}$	1,34											
Temperatura anual ponderada (°C)	22,4											

Quadro I.14 – Temperatura anual ponderada para Lusaka, Zâmbia

Zâmbia - Lusaka	Região climática - húmida											
Meses	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Temperatura média mensal (°C)	22,0	22,0	22,0	21,0	18,0	16,0	16,0	18,0	22,0	25,0	24,0	22,0
W	1,30	1,30	1,30	1,20	0,72	0,54	0,54	0,72	1,30	1,80	1,60	1,30
$W_{\text{médio}}$	1,14											
Temperatura anual ponderada (°C)	20,7											

Quadro I.15 – Temperatura anual ponderada para Solwezi, Zâmbia

Zâmbia - Solwezi	Região climática - húmida											
Meses	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Temperatura média mensal (°C)	21,3	21,5	21,3	20,3	17,8	15,6	15,5	17,9	20,9	22,6	22	21,3
W	1,23	1,25	1,06	1,06	0,70	0,52	0,52	0,71	1,18	1,26	1,30	1,23
$W_{\text{médio}}$	1,00											
Temperatura anual ponderada (°C)	20											

Quadro I.16 – Temperatura anual ponderada para Mongu, Zâmbia

Zâmbia - Mongu	Região climática - húmida											
Meses	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Temperatura média mensal (°C)	24,0	24,0	24,0	23,0	21,0	19,0	19,0	21,0	26,0	27,0	26,0	24,0
W	1,60	1,60	1,60	1,40	1,20	0,83	0,83	1,20	2,10	2,40	2,10	1,60
$W_{\text{médio}}$	1,54											
Temperatura anual ponderada (°C)	23,7											

Quadro I.17 – Temperatura anual ponderada para Harare, Zimbabuê

Zimbabuê - Harare	Região climática - húmida											
Meses	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Temperatura média mensal (°C)	21,0	21,0	21,0	20,0	17,0	15,0	15,0	16,0	20,0	21,0	22,0	21,0
W	1,20	1,20	1,20	1,00	0,63	0,50	0,50	0,54	1,00	1,20	1,30	1,20
$W_{\text{médio}}$	0,96											
Temperatura anual ponderada (°C)	19,75											

Quadro I.18 – Temperatura anual ponderada para Gwanda, Zimbabuê

Zimbabuê - Gwanda	Região climática - seca											
Meses	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Temperatura média mensal (°C)	24,2	23,4	22,4	20,0	16,8	14,0	13,8	16,4	20,0	22,5	23,4	23,7
W	1,64	1,48	1,34	1,00	0,61	0,43	0,41	0,58	1,00	1,35	1,48	1,54
$W_{\text{médio}}$	1,07											
Temperatura anual ponderada (°C)	20,35											

Quadro I.19 – Temperatura anual ponderada para Hwange, Zimbabué

Zimbabué - Hwange	Região climática - húmida											
Meses	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Temperatura média mensal (°C)	23,6	23,3	22,8	20,6	17,4	14,4	14,3	17,1	21,5	24,1	24,6	23,9
W	1,52	1,46	1,38	1,12	0,67	0,46	0,45	0,64	1,25	1,62	1,72	1,58
$W_{\text{médio}}$	1,16											
Temperatura anual ponderada (°C)	20,8											

Quadro I.20 – Temperatura anual ponderada para Maputo, Moçambique

Moçambique - Maputo	Região climática - húmida											
Meses	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Temperatura média mensal (°C)	27,0	27,0	26,0	24,0	22,0	20,0	19,0	21,0	22,0	23,0	24,0	26,0
W	2,40	2,40	2,10	1,60	1,30	1,00	0,83	1,20	1,30	1,40	1,60	2,10
$W_{\text{médio}}$	1,60											
Temperatura anual ponderada (°C)	24,0											

Quadro I.21 – Temperatura anual ponderada para Lichinga, Moçambique

Moçambique - Lichinga	Região climática - húmida											
Meses	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Temperatura média mensal (°C)	20,0	20,0	20,0	19,0	18,0	16,0	16,0	16,0	19,0	21,0	21,0	20,0
W	1,00	1,00	1,00	0,83	0,72	0,54	0,54	0,54	0,83	1,20	1,20	1,00
$W_{\text{médio}}$	0,87											
Temperatura anual ponderada (°C)	19,25											

Quadro I.22 – Temperatura anual ponderada para Tete, Moçambique

Moçambique - Tete	Região climática - húmida											
Meses	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Temperatura média mensal (°C)	27,0	27,0	26,0	26,0	24,0	22,0	20,0	23,0	26,0	29,0	29,0	28,0
W	2,40	2,40	2,10	2,10	1,60	1,30	1,00	1,40	2,10	3,00	3,00	2,70
$W_{\text{médio}}$	2,09											
Temperatura anual ponderada (°C)	26											

Quadro I.23 – Temperatura anual ponderada para Karonga, Malawi

Malawi - Karonga	Região climática - húmida											
Meses	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Temperatura média mensal (°C)	25,0	24,0	24,0	24,0	23,0	21,0	21,0	21,0	23,0	25,0	26,0	25,0
W	1,80	1,60	1,60	1,60	1,40	1,20	1,20	1,20	1,40	1,80	2,10	1,80
$W_{\text{médio}}$	1,56											
Temperatura anual ponderada (°C)	23,8											

Quadro I.24 – Temperatura anual ponderada para Dedza, Malawi

Malawi - Dedza	Região climática - húmida											
Meses	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Temperatura média mensal (°C)	19,8	19,7	19,5	18,7	16,9	14,9	14,6	16,1	18,8	20,6	21	20,2
W	0,97	0,95	0,92	0,80	0,62	0,49	0,47	0,55	0,81	1,12	1,20	1,04
$W_{\text{médio}}$	0,83											
Temperatura anual ponderada (°C)	19											

Quadro I.25 – Temperatura anual ponderada para Chikwawa, Malawi

Malawi - Chikwawa	Região climática - húmida											
Meses	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Temperatura média mensal (°C)	27,7	27,5	27,1	25,8	23,6	21,4	21,2	23,0	26,1	28,5	29,1	28,4
W	2,61	2,55	2,43	2,04	1,52	1,24	1,22	1,40	2,13	2,85	3,04	2,82
$W_{\text{médio}}$	2,15											
Temperatura anual ponderada (°C)	26,2											

Quadro I.26 – Temperatura anual ponderada para Dodoma, Tanzânia

Tanzânia - Dodoma	Região climática - seca											
Meses	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Temperatura média mensal (°C)	23,0	22,0	22,0	22,0	21,0	20,0	19,0	20,0	21,0	23,0	24,0	24,0
W	1,40	1,30	1,30	1,30	1,20	1,00	0,83	1,00	1,20	1,40	1,60	1,60
$W_{\text{médio}}$	1,26											
Temperatura anual ponderada (°C)	21,6											

Quadro I.27 – Temperatura anual ponderada para Mbeya, Tanzânia

Tanzânia - Mbeya	Região climática - húmida											
Meses	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Temperatura média mensal (°C)	17,0	17,0	17,0	17,0	16,0	14,0	14,0	15,0	18,0	19,0	19,0	19,0
W	0,63	0,63	0,63	0,63	0,54	0,43	0,43	0,5	0,72	0,83	0,83	0,83
$W_{\text{médio}}$	0,64											
Temperatura anual ponderada (°C)	17,1											

Quadro I.28 – Temperatura anual ponderada para Kigoma, Tanzânia

Tanzânia - Kigoma	Região climática - húmida											
Meses	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Temperatura média mensal (°C)	22,0	23,0	23,0	23,0	23,0	22,0	22,0	22,0	24,0	24,0	23,0	22,0
W	1,30	1,40	1,40	1,40	1,40	1,30	1,30	1,30	1,60	1,60	1,40	1,30
$W_{\text{médio}}$	1,39											
Temperatura anual ponderada (°C)	22,9											

Quadro I.29 – Temperatura anual ponderada para Lindi, Tanzânia

Tanzânia - Lindi	Região climática - húmida											
Meses	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Temperatura média mensal (°C)	26,7	26,9	26,8	26,3	25,3	24,0	23,6	23,9	24,3	25,5	26,6	26,9
W	2,31	2,37	2,34	2,19	1,89	1,60	1,52	1,58	1,66	1,95	2,28	2,37
$W_{\text{médio}}$	2,01											
Temperatura anual ponderada (°C)	25,7											

ANEXO II: TRÁFEGO ADMISSÍVEL (N_{80}), SEGUNDO OS DADOS RECOLHIDOS DO PROGRAMA BISAR PARA ESTRUTURAS DO TIPO D1

Quadro II.1 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura de pavimento do tipo D1 – T1

Classe de Tráfego	ϵ_{dp}	N_{80} (milhões de eixos padrão)	Classes de tráfego após cálculo	Variação (%)
T1	-7,87E-04	0,51	T2	+40,82

Quadro II.2 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura de pavimento do tipo D1 – T2

Classe de Tráfego	ϵ_{dp}	N_{80} (milhões de eixos padrão)	Classes de tráfego após cálculo	Variação (%)
T2	-7,08E-04	0,77	T3	+9,56

Quadro II.3 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura de pavimento do tipo D1 – T3

Classe de Tráfego	ϵ_{dp}	N_{80} (milhões de eixos padrão)	Classes de tráfego após cálculo	Variação (%)
T3	-6,38E-04	1,17	T3	-

Quadro II.4 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura de pavimento do tipo D1 – T4

Classe de Tráfego	ϵ_{dp}	N_{80} (milhões de eixos padrão)	Classes de tráfego após cálculo	Variação (%)
T4	-5,80E-04	1,72	T4	-

Quadro II.4 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura de pavimento do tipo D1 – T5

Classe de Tráfego	ϵ_{dp}	N_{80} (milhões de eixos padrão)	Classes de tráfego após cálculo	Variação (%)
T5	-4,27E-04	5,85	T5	-

Quadro II.5 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura D1 – T6 para Namibe, Angola

ANGOLA - Namibe						
T6	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵ_t - extensão de tração	1,80E-04	1,65E-04	1,36E-04	1,83E-04	1,74E-04	1,50E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	18,2	60,7	382,0	11,1	32,0	156,6
ϵ_{dp} -extensão de compressão	-4,05E-04	-4,18E-04	-4,34E-04	-3,98E-04	-4,12E-04	-4,27E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	7,2	6,4	5,5	7,8	6,7	5,9
Classes de tráfego após cálculo	T6	T6	T5	T6	T6	T5
Variação (%)	-	-	-8,6	-	-	-2,5

Quadro II.6 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura D1 – T6 para Mariental, Namíbia

NAMÍBIA - Mariental						
T6	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵt - extensão de tração	1,70E-04	1,44E-04	1,11E-04	1,77E-04	1,56E-04	1,20E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	40,4	232,2	2458,1	23,8	108,5	1198,9
ϵdp -extensão de compressão	-4,14E-04	-4,30E-04	-4,50E-04	-4,08E-04	-4,24E-04	-4,40E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	6,6	5,7	4,7	7,0	6,0	5,2
Classes de tráfego após cálculo	T6	T5	T5	T6	T6	T5
Variação (%)	-	-5,2	-21,0	-	-	-13,5

Quadro II.7 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura D1 – T7 para Namibe, Angola

ANGOLA - Namibe						
T7	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵt - extensão de tração	1,71E-04	1,56E-04	1,28E-04	1,75E-04	1,65E-04	1,42E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	23,4	80,3	517,3	13,9	41,7	206,0
ϵdp -extensão de compressão	-3,40E-04	-3,84E-04	-4,00E-04	-3,65E-04	-3,78E-04	-3,92E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	14,6	8,9	7,6	11,0	9,5	8,2
Classes de tráfego após cálculo	T7	T6	T6	T7	T6	T6
Variação (%)	-	-10,6	-24,0	-	-4,7	-17,6

Quadro II.8 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura D1 – T7 para Mariental, Namíbia

NAMÍBIA - Mariental						
T7	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵt - extensão de tração	1,62E-04	1,36E-04	1,04E-04	1,69E-04	1,48E-04	1,14E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	51,4	309,1	3404,5	30,0	141,1	1549,4
ϵdp -extensão de compressão	-3,80E-04	-3,95E-04	-4,13E-04	-3,75E-04	-3,90E-04	-4,07E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	9,3	8,0	6,7	9,8	8,4	7,1
Classes de tráfego após cálculo	T6	T6	T6	T6	T6	T6
Variação (%)	-6,7	-20,1	-33,2	-1,7	-15,9	-29,1

Quadro II.9 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura D1 – T8 para Namibe, Angola

ANGOLA - Namibe						
T8	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵt - extensão de tração	1,53E-04	1,37E-04	1,11E-04	1,57E-04	1,46E-04	1,24E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	40,7	153,7	1054,8	24,0	76,9	405,7
ϵdp -extensão de compressão	-3,11E-04	-3,20E-04	-3,34E-04	-3,06E-04	-3,02E-04	-3,30E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	20,8	18,5	15,6	22,2	23,5	16,4
Classes de tráfego após cálculo	T8	T8	T7	T8	T8	T7
Variação (%)	-	-	-8,1	-	-	-3,5

Quadro II.10 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura D1 – T8 para Mariental, Namíbia

NAMÍBIA - Mariental						
T8	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵt - extensão de tração	1,44E-04	1,18E-04	8,96E-05	1,50E-04	1,30E-04	9,84E-05
N_{80} (milhões de eixos padrão)	119,8	988,0	10718,0	67,2	387,3	4489,9
ϵdp -extensão de compressão	-3,20E-04	-3,31E-04	-3,46E-04	-3,14E-04	-3,27E-04	-3,41E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	18,5	16,2	13,6	20,0	17,0	14,4
Classes de tráfego após cálculo	T8	T7	T7	T8	T8	T7
Variação (%)	-	-4,7	-20,2	-	-	-15,4

ANEXO III: TRÁFEGO ADMISSÍVEL (N_{80}), SEGUNDO OS DADOS RECOLHIDOS DO PROGRAMA BISAR PARA ESTRUTURAS DO TIPO W1

Quadro III.1 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura de pavimento do tipo W1 – T1

Classe de Tráfego	ϵ_{dp}	N_{80} (milhões de eixos padrão)	Classes de tráfego após cálculo	Variação (%)
T1	-7.08E-04	0,8	T3	+61,24

Quadro III.2 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura de pavimento do tipo W1 – T2

Classe de Tráfego	ϵ_{dp}	N_{80} (milhões de eixos padrão)	Classes de tráfego após cálculo	Variação (%)
T2	4.59E-04	4,4	T5	+84,02

Quadro III.3 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura W1 – T3 para Luanda, Angola

ANGOLA - Luanda						
T3	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵ_t - extensão de tração	2,30E-04	1,82E-04	1,31E-04	2,41E-04	2,08E-04	1,54E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	15,6	149,4	2692,7	8,0	45,7	714,6
ϵ_{dp} -extensão de compressão	-6,34E-04	-6,60E-04	-6,92E-04	-6,23E-04	-6,48E-04	-6,80E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	1,2	1,0	0,8	1,3	1,1	0,9
Classes de tráfego após cálculo	T3	T3	T3	T3	T3	T3
Variação (%)	-	-	-	-	-	-

Quadro III.4 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura W1 – T3 para Lucapa, Angola

ANGOLA - Lucapa						
T3	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵ_t - extensão de tração	2,38E-04	1,96E-04	1,54E-04	2,45E-04	2,17E-04	1,70E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	9,7	78,1	714,6	5,8	29,9	291,7
ϵ_{dp} -extensão de compressão	-6,26E-04	-6,54E-04	-6,80E-04	-6,17E-04	-6,46E-04	-6,70E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	1,3	1,1	0,9	1,3	1,1	1,0
Classes de tráfego após cálculo	T3	T3	T3	T3	T3	T3
Variação (%)	-	-	-	-	-	-

Quadro III.5 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura W1 – T3 para Cape Town, África do Sul

ÁFRICA DO SUL - Cape Town						
T3	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵt - extensão de tração	2,46E-04	2,48E-04	2,38E-04	2,40E-04	2,49E-04	2,45E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	2,1	4,0	9,7	1,7	2,8	5,8
ϵdp -extensão de compressão	-5,94E-04	-6,10E-04	-6,26E-04	-5,86E-04	-6,02E-04	-6,17E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	1,6	1,4	1,3	1,6	1,5	1,3
Classes de tráfego após cálculo	T4	T3	T3	T4	T3	T3
Variação (%)	+4,0	-	-	+9,0	-	-

Quadro III.6 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura W1 – T3 para Pretoria, África do Sul

ÁFRICA DO SUL - Pretoria						
T3	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵt - extensão de tração	2,49E-04	2,43E-04	2,17E-04	2,46E-04	2,48E-04	2,34E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	2,8	6,8	29,9	2,1	4,0	12,2
ϵdp -extensão de compressão	-6,02E-04	-6,20E-04	-6,43E-04	-5,94E-04	-6,10E-04	-6,30E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	1,5	1,3	1,1	1,6	1,4	1,2
Classes de tráfego após cálculo	T3	T3	T3	T4	T3	T3
Variação (%)	-	-	-	+4,0	-	-

Quadro III.7 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura W1 – T3 para Gaborone, Botswana

BOTSWANA - Gaborone						
T3	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵt - extensão de tração	2,45E-04	2,24E-04	1,82E-04	2,49E-04	2,38E-04	1,96E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	5,8	21,1	149,4	3,6	9,7	78,1
ϵdp -extensão de compressão	-6,17E-04	-6,38E-04	-6,64E-04	-6,08E-04	-6,26E-04	-6,54E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	1,3	1,2	1,0	1,4	1,3	1,1
Classes de tráfego após cálculo	T3	T3	T3	T3	T3	T3
Variação (%)	-	-	-	-	-	-

Quadro III.8 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura W1 – T3 para Windhoek, Namíbia

NAMÍBIA - Windhoek						
T3	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵt - extensão de tração	2,48E-04	2,38E-04	2,08E-04	2,48E-04	2,45E-04	2,24E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	3,6	9,7	45,7	2,4	5,8	21,1
ϵdp -extensão de compressão	-6,08E-04	-6,26E-04	-6,48E-04	-5,99E-04	-6,17E-04	-6,38E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	1,4	1,3	1,1	1,5	1,3	1,2
Classes de tráfego após cálculo	T3	T3	T3	T4	T3	T3
Variação (%)	-	-	-	+0,7	-	-

Quadro III.9 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura W1 – T3 para Lusaka, Zâmbia

ZÂMBIA - Lusaka						
T3	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵt - extensão de tração	2,47E-04	2,30E-04	1,96E-04	2,49E-04	2,41E-04	2,17E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	4,5	15,6	78,1	2,8	8,0	29,9
ϵdp -extensão de compressão	-6,13E-04	-6,34E-04	-6,54E-04	-6,02E-04	-6,23E-04	-6,43E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	1,4	1,2	1,1	1,5	1,3	1,1
Classes de tráfego após cálculo	T3	T3	T3	T3	T3	T3
Variação (%)	-	-	-	-	-	-

Quadro III.10 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura W1 – T3 para Tete, Moçambique

MOÇAMBIQUE - Tete						
T3	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵt - extensão de tração	1,82E-04	1,31E-04	5,32E-05	2,08E-04	1,54E-04	5,32E-05
N_{80} (milhões de eixos padrão)	149,4	2692,7	1761180,0	45,7	714,6	1761180,0
ϵdp -extensão de compressão	-6,61E-04	-6,92E-04	-6,80E-04	-6,48E-04	-6,80E-04	-7,30E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	1,0	0,8	0,9	1,1	0,9	0,7
Classes de tráfego após cálculo	T3	T3	T3	T3	T3	T2
Variação (%)	-	-	-	-	-	-2,2

Quadro III.11 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura W1 – T3 para Mbeya, Tanzânia

TANZÂNIA - Mbeya						
T3	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵ_t - extensão de tração	2,45E-04	2,49E-04	2,41E-04	2,37E-04	2,47E-04	2,47E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	1,9	3,3	8,0	1,4	2,3	4,5
ϵ_{dp} -extensão de compressão	-5,92E-04	-6,06E-04	-6,23E-04	-5,82E-04	-5,97E-04	-6,13E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	1,6	1,4	1,3	1,7	1,5	1,4
Classes de tráfego após cálculo	T4	T3	T3	T3	T4	T3
Variação (%)	5,3	-	-	-	2,0	-

Quadro III.12 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura W1 – T3 para Lindi, Tanzânia

TANZÂNIA - Lindi						
T3	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵ_t - extensão de tração	1,96E-04	1,31E-04	5,32E-05	2,17E-04	1,70E-04	1,00E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	78,1	2692,7	1761180,0	29,9	291,7	21553,0
ϵ_{dp} -extensão de compressão	-6,54E-04	-6,92E-04	-7,30E-04	-6,43E-04	-6,70E-04	-7,08E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	1,1	0,8	0,7	1,1	1,0	0,8
Classes de tráfego após cálculo	T3	T3	T2	T3	T3	T3
Variação (%)	-	-	2,2	-	-	-

Quadro III.13 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura W1 – T4 para Luanda, Angola

ANGOLA - Luanda						
T4	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵt - extensão de tração	1,91E-04	1,49E-04	1,04E-04	2,02E-04	1,70E-04	1,24E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	39,4	406,2	8538,4	19,3	125,2	2111,3
ϵdp -extensão de compressão	-5,17E-04	-5,41E-04	-5,67E-04	-5,08E-04	-5,30E-04	-5,56E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	2,7	2,3	1,9	2,9	2,5	2,0
Classes de tráfego após cálculo	T4	T4	T4	T4	T4	T4
Variação (%)	-	-	-	-	-	-

Quadro III.14 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura W1 – T4 para Lucapa, Angola

ANGOLA - Lucapa						
T4	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵt - extensão de tração	2,00E-04	1,59E-04	1,24E-04	2,07E-04	1,78E-04	1,38E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	23,2	222,4	2111,3	13,4	80,5	827,6
ϵdp -extensão de compressão	-5,11E-04	-5,35E-04	-5,56E-04	-5,03E-04	-5,25E-04	-5,48E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	2,9	2,4	2,0	3,0	2,6	2,2
Classes de tráfego após cálculo	T4	T4	T4	T5	T4	T4
Variação (%)	-	-	-	+1,3	-	-

Quadro III.15 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura W1 – T4 para Cape Town, África do Sul

ÁFRICA DO SUL - Cape Town						
T4	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵt - extensão de tração	2,13E-04	2,12E-04	2,00E-04	2,11E-04	2,14E-04	2,07E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	4,3	8,7	23,2	3,1	5,9	13,4
ϵdp -extensão de compressão	-4,84E-04	-4,97E-04	-5,11E-04	-4,77E-04	-4,91E-04	-5,03E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	3,5	3,2	2,9	3,8	3,3	3,0
Classes de tráfego após cálculo	T5	T5	T4	T5	T5	T5
Variação (%)	+15,4	+5,9	-	+4,5	+10,3	+1,3

Quadro III.16 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura W1 – T4 para Pretoria, África do Sul

ÁFRICA DO SUL - Pretoria						
T4	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵt - extensão de tração	2,14E-04	2,05E-04	1,78E-04	2,13E-04	2,12E-04	1,95E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	5,9	15,8	80,5	4,3	8,7	30,4
ϵdp -extensão de compressão	-4,91E-04	-5,06E-04	-5,25E-04	-4,84E-04	-4,97E-04	-5,14E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	3,3	3,0	2,6	3,5	3,2	2,8
Classes de tráfego após cálculo	T5	T4	T4	T5	T5	T4
Variação (%)	+10,3	-	-	+15,4	+5,9	-

Quadro III.17 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura W1 – T4 para Gaborone, Botswana

BOTSWANA - Gaborone						
T4	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵt - extensão de tração	2,07E-04	1,84E-04	1,49E-04	2,12E-04	1,99E-04	1,59E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	13,4	56,4	406,2	8,0	23,8	222,4
ϵdp -extensão de compressão	-5,03E-04	-5,21E-04	-5,41E-04	-4,95E-04	-5,11E-04	-5,35E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	3,0	2,6	2,3	3,2	2,9	2,4
Classes de tráfego após cálculo	T5	T4	T4	T5	T4	T4
Variação (%)	+1,3	-	-	+7,4	-	-

Quadro III.18 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura W1 – T4 para Windhoek, Namíbia

NAMÍBIA - Windhoek						
T4	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵt - extensão de tração	2,12E-04	1,99E-04	1,70E-04	2,14E-04	2,07E-04	1,85E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	8,0	23,8	125,2	5,1	13,4	54,9
ϵdp -extensão de compressão	4,95E-04	-5,11E-04	-5,30E-04	-4,88E-04	-5,03E-04	-5,21E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	3,2	2,9	2,5	3,4	3,0	2,6
Classes de tráfego após cálculo	T5	T4	T4	T5	T5	T4
Variação (%)	+7,4	-	-	+12,5	+1,3	-

Quadro III.19 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura W1 – T4 para Lusaka, Zâmbia

ZÂMBIA - Lusaka						
T4	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵt - extensão de tração	2,10E-04	1,91E-04	1,59E-04	2,14E-04	2,02E-04	1,78E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	10,1	39,4	222,4	5,9	19,3	80,5
ϵdp -extensão de compressão	-5,00E-04	5,17E-04	-5,35E-04	-4,91E-04	-5,08E-04	5,25E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	3,1	2,7	2,4	3,3	2,9	2,6
Classes de tráfego após cálculo	T5	T4	T4	T5	T4	T4
Variação (%)	+3,6	-	-	+10,3	-	-

Quadro III.20 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura W1 – T4 para Tete, Moçambique

MOÇAMBIQUE - Tete						
T4	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵt - extensão de tração	1,49E-04	1,04E-04	4,09E-05	1,69E-04	1,24E-04	4,09E-05
N_{80} (milhões de eixos padrão)	406,2	8538,4	6557606,8	128,9	2111,3	6557606,8
ϵdp -extensão de compressão	-5,41E-04	-5,70E-04	-5,96E-04	-5,30E-04	-5,56E-04	5,96E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	2,3	1,8	1,5	2,5	2,0	1,5
Classes de tráfego após cálculo	T4	T4	T4	T4	T4	T4
Variação (%)	-	-	-	-	-	-

Quadro III.21 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura W1 – T4 para Mbeya, Tanzânia

TANZÂNIA - Mbeya						
T4	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵt - extensão de tração	2,13E-04	2,13E-04	2,02E-04	2,08E-04	2,14E-04	2,10E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	3,8	7,1	19,3	2,8	4,7	10,1
ϵdp -extensão de compressão	-4,80E-04	-4,94E-04	-5,08E-04	-4,74E-04	-4,86E-04	-5,00E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	3,7	3,3	2,9	3,9	3,5	3,1
Classes de tráfego após cálculo	T5	T5	T4	T4	T5	T5
Variação (%)	+18,1	+8,1	-	-	+13,9	+3,6

Quadro III.22 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura W1 – T4 para Lindi, Tanzânia

TANZÂNIA - Lindi						
T4	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵ_t - extensão de tração	1,59E-04	1,04E-04	4,09E-05	1,78E-04	1,38E-04	7,82E-05
N_{80} (milhões de eixos padrão)	222,4	8538,4	6557606,8	80,5	827,6	73701,1
ϵ_{dp} -extensão de compressão	-5,35E-04	-5,67E-04	-5,96E-04	-5,25E-04	-5,48E-04	-5,80E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	2,4	1,9	1,5	2,6	2,2	1,7
Classes de tráfego após cálculo	T4	T4	T4	T4	T4	T4
Variação (%)	-	-	-	-	-	-

Quadro III.23 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura W1 – T5 para Luanda, Angola

ANGOLA - Luanda						
T5	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵt - extensão de tração	1,72E-04	1,34E-04	9,25E-05	1,84E-04	1,51E-04	1,10E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	66,6	690,5	15340,3	30,8	226,4	3843,2
ϵdp -extensão de compressão	-4,65E-04	-4,87E-04	-5,09E-04	-4,57E-04	-4,76E-04	-5,00E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	4,2	3,5	2,9	4,5	3,8	3,1
Classes de tráfego após cálculo	T5	T5	T4	T5	T5	T5
Variação (%)	-	-	-3,4	-	-	-

Quadro III.24 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura W1 – T5 para Lucapa, Angola

ANGOLA - Lucapa						
T5	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵt - extensão de tração	1,80E-04	1,42E-04	1,10E-04	1,88E-04	1,59E-04	1,23E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	39,3	391,5	3843,2	21,7	141,5	1471,3
ϵdp -extensão de compressão	-4,59E-04	-4,80E-04	-5,00E-04	-4,52E-04	-4,72E-04	-4,93E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	4,4	3,7	3,1	4,7	3,9	3,3
Classes de tráfego após cálculo	T5	T5	T5	T5	T5	T5
Variação (%)	-	-	-	-	-	-

Quadro III.25 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura W1 – T5 para Cape Town, África do Sul

ÁFRICA DO SUL - Cape Town						
T5	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵt - extensão de tração	1,97E-04	1,93E-04	1,80E-04	1,95E-04	1,96E-04	1,88E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	6,3	14,0	39,3	4,7	9,2	21,7
ϵdp -extensão de compressão	-4,34E-04	-4,46E-04	-4,59E-04	-4,28E-04	-4,40E-04	-4,52E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	5,5	4,9	4,4	5,8	5,2	4,7
Classes de tráfego após cálculo	T5	T5	T5	T5	T5	T5
Variação (%)	-	-	-	-	-	-

Quadro III.26 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura W1 – T5 para Pretoria, África do Sul

ÁFRICA DO SUL - Pretoria						
T5	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵt - extensão de tração	1,96E-04	1,86E-04	1,59E-04	1,97E-04	1,93E-04	1,76E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	9,2	25,8	141,5	6,3	14,0	50,7
ϵdp -extensão de compressão	-4,40E-04	-4,54E-04	-4,72E-04	-4,34E-04	-4,46E-04	-4,62E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	5,2	4,6	3,9	5,5	4,9	4,3
Classes de tráfego após cálculo	T5	T5	T5	T5	T5	T5
Variação (%)	-	-	-	-	-	-

Quadro III.27 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura W1 – T5 para Gaborone, Botswana

BOTSWANA - Gaborone						
T5	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵt - extensão de tração	1,88E-04	1,66E-04	1,34E-04	1,94E-04	1,80E-04	1,42E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	21,7	94,4	690,5	12,4	39,3	391,5
ϵdp -extensão de compressão	-4,52E-04	-4,68E-04	-4,87E-04	-4,45E-04	-4,59E-04	-4,81E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	4,7	4,1	3,5	5,0	4,4	3,6
Classes de tráfego após cálculo	T5	T5	T5	T5	T5	T5
Variação (%)	-	-	-	-	-	-

Quadro III.28 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura W1 – T5 para Windhoek, Namíbia

NAMÍBIA - Windhoek						
T5	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵt - extensão de tração	1,94E-04	1,80E-04	1,51E-04	1,97E-04	1,88E-04	1,66E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	12,4	39,3	226,4	7,7	21,7	94,4
ϵdp -extensão de compressão	-4,45E-04	-4,59E-04	-4,76E-04	-4,38E-04	-4,52E-04	-4,68E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	5,0	4,4	3,8	5,3	4,7	4,1
Classes de tráfego após cálculo	T5	T5	T5	T5	T5	T5
Variação (%)	-	-	-	-	-	-

Quadro III.29 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura W1 – T5 para Lusaka, Zâmbia

ZÂMBIA - Lusaka						
T5	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵt - extensão de tração	1,92E-04	1,72E-04	1,42E-04	1,96E-04	1,84E-04	1,59E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	15,8	66,6	391,5	9,2	30,8	141,5
ϵdp -extensão de compressão	-4,48E-04	-4,65E-04	-4,81E-04	-4,40E-04	-4,57E-04	-4,72E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	4,8	4,2	3,6	5,2	4,5	3,9
Classes de tráfego após cálculo	T5	T5	T5	T5	T5	T5
Variação (%)	-	-	-	-	-	-

Quadro III.30 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura W1 – T5 para Tete, Moçambique

MOÇAMBIQUE - Tete						
T5	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵt - extensão de tração	1,34E-04	9,25E-05	3,65E-05	1,51E-04	1,10E-04	3,65E-05
N_{80} (milhões de eixos padrão)	690,5	15340,3	11585041,4	226,4	3843,2	11585041,4
ϵdp -extensão de compressão	-4,87E-04	-5,09E-04	-5,34E-04	-4,76E-04	-5,00E-04	-5,34E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	3,5	2,9	2,4	3,8	3,1	2,4
Classes de tráfego após cálculo	T5	T4	T4	T5	T5	T4
Variação (%)	-	-3,4	-20,3	-	-	-20,3

Quadro III.31 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura W1 – T5 para Mbeya, Tanzânia

TANZÂNIA - Mbeya						
T5	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵt - extensão de tração	1,96E-04	1,95E-04	1,84E-04	1,93E-04	1,97E-04	1,92E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	5,7	11,1	30,8	4,0	7,2	15,8
ϵdp -extensão de compressão	-4,35E-04	-4,43E-04	-4,57E-04	-4,25E-04	-4,36E-04	-4,48E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	5,4	5,0	4,5	6,0	5,4	4,8
Classes de tráfego após cálculo	T5	T5	T5	T5	T5	T5
Variação (%)	-	-	-	-	-	-

Quadro III.32 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura W1 – T5 para Lindi, Tanzânia

TANZÂNIA - Lindi						
T5	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵ_t - extensão de tração	1,41E-04	9,25E-05	3,65E-05	1,59E-04	1,23E-04	6,90E-05
N_{80} (milhões de eixos padrão)	405,6	15340,3	11585041,4	141,5	1471,3	137804,2
ϵ_{dp} -extensão de compressão	-4,81E-04	-5,09E-04	-5,34E-04	-4,72E-04	-4,93E-04	-5,20E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	3,6	2,9	2,4	3,9	3,3	2,7
Classes de tráfego após cálculo	T5	T4	T4	T5	T5	T4
Variação (%)	-	-3,4	-20,3	-	-	-11,3

Quadro III.33 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura W1 – T6 para Luanda, Angola

ANGOLA - Luanda						
T6	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵt - extensão de tração	2,20E-04	2,31E-04	2,24E-04	2,12E-04	2,29E-04	2,29E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	14,4	34,4	109,8	11,9	22,8	65,8
ϵdp -extensão de compressão	-3,68E-04	-4,00E-04	-4,18E-04	-3,59E-04	-3,84E-04	-4,09E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	10,6	7,6	6,4	11,7	8,9	6,9
Classes de tráfego após cálculo	T7	T6	T6	T7	T6	T6
Variação (%)	+5,7	-	-	+14,6	-	-

Quadro III.34 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura W1 – T6 para Lucapa, Angola

ANGOLA - Lucapa						
T6	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵt - extensão de tração	2,14E-04	2,29E-04	2,29E-04	2,06E-04	2,25E-04	2,31E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	12,8	22,8	65,8	11,1	17,4	45,4
ϵdp -extensão de compressão	-3,62E-04	-3,84E-04	-4,09E-04	-3,54E-04	-3,75E-04	-4,00E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	11,3	8,9	6,9	12,4	9,8	7,6
Classes de tráfego após cálculo	T7	T6	T6	T7	T6	T6
Variação (%)	+11,7	-	-	+10,2	-	-

Quadro III.35 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura W1 – T6 para Cape Town, África do Sul

ÁFRICA DO SUL - Cape Town						
T6	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵt - extensão de tração	1,79E-04	2,00E-04	2,17E-04	1,64E-04	1,87E-04	2,06E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	9,0	9,8	13,5	9,1	9,3	11,1
ϵdp -extensão de compressão	-3,32E-04	-3,47E-04	-3,65E-04	-3,20E-04	-3,38E-04	-3,54E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	16,0	13,4	11,0	18,5	14,9	12,4
Classes de tráfego após cálculo	T6	T6	T7	T6	T6	T7
Variação (%)	-	-	+8,7	-	-	+10,2

Quadro III.36 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura W1 – T6 para Pretoria, África do Sul

ÁFRICA DO SUL - Pretoria						
T6	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵt - extensão de tração	1,89E-04	2,10E-04	2,25E-04	1,78E-04	2,00E-04	2,17E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	9,5	11,2	17,4	8,7	9,8	13,5
ϵdp -extensão de compressão	-3,40E-04	-3,56E-04	-3,75E-04	-3,30E-04	-3,47E-04	-3,65E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	14,6	12,1	9,8	16,4	13,4	11,0
Classes de tráfego após cálculo	T6	T7	T6	T6	T6	T7
Variação (%)	-	+10,8	-	-	-	+8,7

Quadro III.37 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura W1 – T6 para Gaborone, Botswana

BOTSWANA - Gaborone						
T6	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵt - extensão de tração	2,06E-04	2,25E-04	2,31E-04	1,94E-04	2,17E-04	2,29E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	11,1	17,4	34,4	9,7	13,5	22,8
ϵdp -extensão de compressão	-3,54E-04	-3,75E-04	-3,95E-04	-3,43E-04	-3,65E-04	-3,84E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	12,4	9,8	8,0	14,1	11,0	8,9
Classes de tráfego após cálculo	T7	T6	T6	T6	T7	T6
Variação (%)	+10,2	-	-	-	+8,7	-

Quadro III.38 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura W1 – T6 para Bhisho, África do Sul

ÁFRICA DO SUL - Bhisho						
T6	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵt - extensão de tração	1,83E-04	2,04E-04	2,20E-04	1,70E-04	1,94E-04	2,12E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	9,1	10,6	14,4	9,3	9,7	11,9
ϵdp -extensão de compressão	-3,35E-04	-3,52E-04	-3,68E-04	-3,26E-04	-3,43E-04	-3,60E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	15,4	12,7	10,6	17,2	14,1	11,6
Classes de tráfego após cálculo	T6	T7	T7	T6	T6	T7
Variação (%)	-	+5,7	+5,7	-	-	+13,6

Quadro III.39 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura W1 – T6 para Windhoek, Namíbia

NAMÍBIA - Windhoek						
T6	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵ_t - extensão de tração	1,94E-04	2,14E-04	2,29E-04	1,83E-04	2,04E-04	2,22E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	9,7	12,8	22,8	9,1	10,6	15,9
ϵ_{dp} -extensão de compressão	-3,44E-04	-3,62E-04	-3,84E-04	-3,35E-04	-3,52E-04	-3,71E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	13,9	11,3	8,9	15,4	12,7	10,3
Classes de tráfego após cálculo	T6	T7	T6	T6	T7	T7
Variação (%)	-	+11,7	-	-	+5,7	+2,6

Quadro III.40 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura W1 – T6 para Lusaka, Zâmbia

ZÂMBIA - Lusaka						
T6	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵ_t - extensão de tração	2,01E-04	2,20E-04	2,30E-04	1,89E-04	2,12E-04	2,27E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	10,4	14,4	27,6	9,5	11,9	19,7
ϵ_{dp} -extensão de compressão	-3,50E-04	-3,68E-04	-3,89E-04	-3,40E-04	-3,60E-04	-3,79E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	13,0	10,6	8,5	14,6	11,6	9,4
Classes de tráfego após cálculo	T7	T7	T6	T6	T7	T6
Variação (%)	+4,0	+5,7	-	-	+13,6	-

Quadro III.41 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura W1 – T6 para Tete, Moçambique

MOÇAMBIQUE - Tete						
T6	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵ_t - extensão de tração	2,30E-04	2,24E-04	2,00E-04	2,25E-04	2,31E-04	2,16E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	27,6	109,8	673,5	17,4	45,4	220,9
ϵ_{dp} -extensão de compressão	-3,89E-04	-4,18E-04	-4,46E-04	-3,75E-04	-4,00E-04	-4,30E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	8,5	6,4	4,9	9,8	7,6	5,7
Classes de tráfego após cálculo	T6	T6	T5	T6	T6	T5
Variação (%)	-	-	-18,1	-	-	-5,2

Quadro III.42 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura W1 – T6 para Mbeya, Tanzânia

TANZÂNIA - Mbeya						
T6	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵt - extensão de tração	1,73E-04	1,94E-04	2,12E-04	1,60E-04	1,80E-04	2,00E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	8,9	9,7	11,9	8,9	9,3	10,7
ϵdp -extensão de compressão	-3,27E-04	-3,43E-04	-3,60E-04	-3,17E-04	-3,33E-04	-3,50E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	17,0	14,1	11,6	19,3	15,8	13,0
Classes de tráfego após cálculo	T6	T6	T7	T6	T6	T7
Variação (%)	-	-	+13,6	-	-	+6,3

Quadro III.43 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura W1 – T6 para Lindi, Tanzânia

TANZÂNIA - Lindi						
T6	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵt - extensão de tração	2,30E-04	2,24E-04	2,00E-04	2,25E-04	2,31E-04	2,16E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	27,6	109,8	673,5	17,4	45,4	220,9
ϵdp -extensão de compressão	-3,89E-04	-4,18E-04	-4,46E-04	-3,75E-04	-4,00E-04	-4,30E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	8,5	6,4	4,9	9,8	7,6	5,7
Classes de tráfego após cálculo	T6	T6	T5	T6	T6	T5
Variação (%)	-	-	-18,1	-	-	-5,2

Quadro III.44 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura W1 – T6 para Harare, Zimbabué

ZIMBABUÉ - Harare						
T6	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵt - extensão de tração	1,94E-04	2,14E-04	2,29E-04	1,83E-04	2,04E-04	2,22E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	9,7	12,8	22,8	9,1	10,6	15,9
ϵdp -extensão de compressão	-3,43E-04	-3,62E-04	-3,84E-04	-3,35E-04	-3,52E-04	-3,71E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	14,1	11,3	8,9	15,4	12,7	10,3
Classes de tráfego após cálculo	T6	T7	T6	T6	T7	T7
Variação (%)	-	+11,7	-	-	+5,7	+2,6

Quadro III.45 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura W1 – T7 para Luanda, Angola

ANGOLA - Luanda						
T7	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵt - extensão de tração	1,28E-04	1,75E-04	2,50E-04	1,17E-04	1,53E-04	2,14E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	215,9	137,7	63,4	232,8	171,5	92,3
ϵdp -extensão de compressão	-3,00E-04	-3,30E-04	-3,54E-04	-2,95E-04	-3,20E-04	-3,44E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	24,0	16,4	12,4	25,7	18,5	13,9
Classes de tráfego após cálculo	T8	T7	T7	T8	T8	T7
Variação (%)	+29,2	-	-	+33,8	+8,3	-

Quadro III.46 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura W1 – T7 para Lucapa, Angola

ANGOLA - Lucapa						
T7	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵt - extensão de tração	1,20E-04	1,53E-04	2,14E-04	1,11E-04	1,39E-04	1,91E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	230,4	171,5	92,3	245,1	193,1	117,4
ϵdp -extensão de compressão	-2,98E-04	-3,20E-04	-3,44E-04	-2,90E-04	-3,11E-04	-3,37E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	24,7	18,5	13,9	27,5	20,8	15,1
Classes de tráfego após cálculo	T8	T8	T7	T8	T8	T7
Variação (%)	+31,1	+8,3	-	+38,2	+18,2	-

Quadro III.47 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura W1 – T7 para Cape Town, África do Sul

ÁFRICA DO SUL - Cape Town						
T7	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵt - extensão de tração	8,86E-05	1,04E-04	1,24E-04	7,95E-05	9,45E-05	1,11E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	301,6	257,2	221,4	338,8	282,7	245,1
ϵdp -extensão de compressão	-2,68E-04	-2,84E-04	-3,00E-04	-2,58E-04	-2,75E-04	-2,90E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	37,7	29,9	24,0	43,9	34,0	27,5
Classes de tráfego após cálculo	> T8!!	T8	T8	> T8!!	> T8!!	T8
Variação (%)	+54,9	+43,1	+29,2	+61,3	+50,0	+38,2

Quadro III.48 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura W1 – T7 para Pretoria, África do Sul

ÁFRICA DO SUL - Pretoria						
T7	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵt - extensão de tração	9,61E-05	1,14E-04	1,39E-04	8,73E-05	1,04E-04	1,24E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	278,9	237,7	193,1	306,1	257,2	221,4
ϵdp -extensão de compressão	-2,76E-04	-2,93E-04	-3,11E-04	-2,67E-04	-2,84E-04	-3,00E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	33,5	26,4	20,8	38,3	29,9	24,0
Classes de tráfego após cálculo	> T8!!	T8	T8	> T8!!	T8	T8
Variação (%)	+49,3	+35,6	+18,2	+55,6	+43,1	+29,2

Quadro III.49 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura W1 – T7 para Gaborone, Botswana

BOTSWANA - Gaborone						
T7	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵt - extensão de tração	1,11E-04	1,39E-04	1,75E-04	9,97E-05	1,24E-04	1,53E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	245,1	193,1	137,7	269,6	221,4	171,5
ϵdp -extensão de compressão	-2,90E-04	-3,11E-04	-3,30E-04	-2,80E-04	-3,00E-04	-3,20E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	27,5	20,8	16,4	31,6	24,0	18,5
Classes de tráfego após cálculo	T8	T8	T7	> T8!!	T8	T8
Variação (%)	+38,2	+18,2	-	+46,3	+29,2	+8,3

Quadro III.50 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura W1 – T7 para Bhisho, África do sul

ÁFRICA DO SUL - Bhisho						
T7	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵt - extensão de tração	9,14E-05	1,08E-04	1,28E-04	8,37E-05	9,97E-05	1,17E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	292,2	255,0	215,9	319,9	269,6	232,8
ϵdp -extensão de compressão	-2,71E-04	-2,88E-04	-3,00E-04	-2,63E-04	-2,80E-04	-2,95E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	36,1	28,3	24,0	40,6	31,6	25,7
Classes de tráfego após cálculo	> T8!!	T8	T8	> T8!!	> T8!!	T8
Variação (%)	+72,3	+64,6	+58,4	+75,4	+68,4	+61,1

Quadro III.51 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura W1 – T7 para Windhoek, Namíbia

NAMÍBIA - Windhoek						
T7	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵt - extensão de tração	9,97E-05	1,20E-04	1,53E-04	9,14E-05	1,08E-04	1,33E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	269,6	230,4	171,5	292,2	255,0	205,9
ϵdp -extensão de compressão	-2,80E-04	-3,00E-04	-3,20E-04	-2,71E-04	-2,88E-04	-3,10E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	31,6	24,0	18,5	36,1	28,3	21,1
Classes de tráfego após cálculo	> T8!!	T8	T8	> T8!!	T8	T8
Variação (%)	+46,3	+29,2	+8,3	+52,9	+39,9	+19,3

Quadro III.52 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura W1 – T7 para Lusaka, Zâmbia

ZÂMBIA - Lusaka						
T7	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵt - extensão de tração	1,06E-04	1,28E-04	1,63E-04	9,65E-05	1,17E-04	1,45E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	255,3	215,9	154,5	273,2	232,8	185,6
ϵdp -extensão de compressão	-2,86E-04	-3,00E-04	-3,24E-04	-2,76E-04	-2,95E-04	-3,15E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	29,1	24,0	17,6	33,5	25,7	19,8
Classes de tráfego após cálculo	T8	T8	T8	> T8!!	T8	T8
Variação (%)	+41,5	+29,2	+3,7	+49,3	+33,8	+13,9

Quadro III.53 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura W1 – T7 para Tete, Moçambique

MOÇAMBIQUE - Tete						
T7	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵt - extensão de tração	1,63E-04	2,50E-04	4,39E-04	1,39E-04	1,91E-04	3,10E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	154,5	63,4	13,2	193,1	117,4	36,3
ϵdp -extensão de compressão	-3,24E-04	-3,54E-04	-3,81E-04	-3,11E-04	-3,37E-04	-3,65E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	17,6	12,4	9,2	20,8	15,1	11,0
Classes de tráfego após cálculo	T8	T7	T6	T8	T7	T7
Variação (%)	+3,7	-	-7,7	+18,2	-	-

Quadro III.54 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura W1 – T7 para Mbeya, Tanzânia

TANZÂNIA - Mbeya						
T7	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵt - extensão de tração	8,49E-05	9,97E-05	1,17E-04	7,67E-05	9,00E-05	1,20E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	314,4	269,6	232,8	353,5	296,4	137,3
ϵdp -extensão de compressão	-2,64E-04	-2,80E-04	-2,95E-04	-2,54E-04	-2,70E-04	-2,86E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	40,0	31,6	25,7	46,7	36,6	29,1
Classes de tráfego após cálculo	> T8!!	> T8!!	T8	> T8!!	> T8!!	T8
Variação (%)	+57,5	+46,3	+33,8	+63,6	+53,5	+41,5

Quadro III.55 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura W1 – T7 para Lindi, Tanzânia

TANZÂNIA - Lindi						
T7	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵt - extensão de tração	1,63E-04	2,50E-04	4,39E-04	1,39E-04	1,91E-04	3,10E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	154,5	63,4	13,2	193,1	117,4	36,3
ϵdp -extensão de compressão	-3,24E-04	-3,54E-04	-3,81E-04	3,11E-04	-3,37E-04	-3,65E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	17,6	12,4	9,2	20,8	15,1	11,0
Classes de tráfego após cálculo	T8	T7	T6	T8	T7	T7
Variação (%)	+3,7	-	-7,7	+18,2	-	-

Quadro III.56 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura W1 – T7 para Harare, Zimbabué

ZIMBABUÉ - Harare						
T7	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵt - extensão de tração	9,97E-05	1,20E-04	1,53E-04	9,14E-05	1,08E-04	1,33E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	269,6	230,4	171,5	292,2	255,0	205,9
ϵdp -extensão de compressão	-2,80E-04	-2,98E-04	-3,20E-04	-2,71E-04	-2,88E-04	-3,07E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	31,6	24,7	18,5	36,1	28,3	21,9
Classes de tráfego após cálculo	> T8!!	T8	T8	> T8!!	T8	T8
Variação (%)	+68,4	+59,5	+46,1	+72,3	+64,6	+54,3

Quadro III.57 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura W1 – T8 para Luanda, Angola

ANGOLA - Luanda						
T8	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵ_t - extensão de tração	9,52E-05	1,59E-04	2,69E-04	8,17E-05	1,28E-04	2,16E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	948,6	222,4	43,9	1402,3	418,5	88,1
ϵ_{dp} -extensão de compressão	-2,55E-04	-2,80E-04	-3,00E-04	-2,47E-04	-2,70E-04	-2,94E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	46,0	31,6	24,0	52,3	36,6	26,0
Classes de tráfego após cálculo	> T8!!	> T8!!	T8	> T8!!	> T8!!	T8
Variação (%)	+34,8	+5,2	-	+42,6	+18,0	-

Quadro III.58 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura W1 – T8 para Lucapa, Angola

ANGOLA - Lucapa						
T8	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵ_t - extensão de tração	8,56E-05	1,28E-04	2,16E-04	7,52E-05	1,08E-04	1,82E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	1247,5	418,5	88,1	1717,0	681,9	149,4
ϵ_{dp} -extensão de compressão	-2,50E-04	-2,70E-04	-2,94E-04	-2,42E-04	-2,62E-04	-2,87E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	49,8	36,6	26,0	56,7	41,3	28,7
Classes de tráfego após cálculo	> T8!!	> T8!!	T8	> T8!!	> T8!!	T8
Variação (%)	+39,7	+18,0	-	+47,1	+27,3	-

Quadro III.59 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura W1 – T8 para Cape Town, África do Sul

ÁFRICA DO SUL - Cape Town						
T8	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵ_t - extensão de tração	5,03E-05	6,36E-05	8,17E-05	4,40E-05	5,46E-05	7,00E-05
N_{80} (milhões de eixos padrão)	4307,2	2552,5	1402,3	5689,7	3606,5	2032,4
ϵ_{dp} -extensão de compressão	-2,17E-04	-2,32E-04	-2,47E-04	-2,00E-04	-2,23E-04	-2,38E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	87,7	67,1	52,3	121,6	78,6	60,6
Classes de tráfego após cálculo	> T8!!	> T8!!	> T8!!	> T8!!	> T8!!	> T8!!
Variação (%)	+65,8	+55,3	+42,6	+75,3	+61,9	+50,5

Quadro III.60 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura W1 – T8 para Pretoria, África do Sul

ÁFRICA DO SUL - Pretoria						
T8	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵt - extensão de tração	6,00E-05	7,83E-05	1,08E-04	5,24E-05	6,76E-05	9,00E-05
N_{80} (milhões de eixos padrão)	2939,8	1555,1	681,9	3928,8	2216,3	1099,3
ϵdp -extensão de compressão	-2,30E-04	-2,45E-04	-2,62E-04	-2,20E-04	-2,36E-04	-2,53E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	69,5	54,0	41,3	83,0	62,7	47,5
Classes de tráfego após cálculo	> T8!!	> T8!!	> T8!!	> T8!!	> T8!!	> T8!!
Variação (%)	+56,8	+44,4	+27,3	+63,9	+52,1	+36,8

Quadro III.61 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura W1 – T8 para Gaborone, Botswana

BOTSWANA - Gaborone						
T8	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵt - extensão de tração	7,00E-05	9,52E-05	1,41E-04	6,02E-05	8,17E-05	1,17E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	2032,4	948,6	318,9	2891,3	1402,3	542,5
ϵdp -extensão de compressão	-2,38E-04	-2,55E-04	-2,75E-04	-2,30E-04	-2,47E-04	-2,66E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	60,6	46,0	34,0	69,5	52,3	38,8
Classes de tráfego após cálculo	> T8!!	> T8!!	> T8!!	> T8!!	> T8!!	> T8!!
Variação (%)	+50,5	+34,8	+11,8	+56,8	+42,6	+22,8

Quadro III.62 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura W1 – T8 para Bhisho, África do Sul

ÁFRICA DO SUL - Bhisho						
T8	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵt - extensão de tração	5,59E-05	7,24E-05	9,52E-05	4,94E-05	6,36E-05	8,17E-05
N_{80} (milhões de eixos padrão)	3415,2	1883,3	948,6	4467,5	2552,5	1402,3
ϵdp -extensão de compressão	-2,24E-04	-2,40E-04	-2,55E-04	-2,16E-04	-2,32E-04	-2,47E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	77,2	58,6	46,0	89,3	67,1	52,3
Classes de tráfego após cálculo	> T8!!	> T8!!	> T8!!	> T8!!	> T8!!	> T8!!
Variação (%)	+61,2	+48,8	+34,8	+66,4	+55,3	+42,6

Quadro III.63 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura W1 – T8 para Windhoek, Namíbia

NAMÍBIA - Windhoek						
T8	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵ_t - extensão de tração	6,36E-05	8,56E-05	1,28E-04	5,59E-05	7,24E-05	1,01E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	2552,5	1247,5	418,5	3415,2	1883,3	815,1
ϵ_{dp} -extensão de compressão	-2,32E-04	2,50E-04	-2,70E-04	-2,24E-04	-2,40E-04	-2,59E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	67,1	49,8	36,6	77,2	58,6	43,2
Classes de tráfego após cálculo	> T8!!	> T8!!	> T8!!	> T8!!	> T8!!	> T8!!
Variação (%)	+55,3	+39,7	+18,0	+61,2	+48,8	+30,6

Quadro III.64 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura W1 – T8 para Chikwawa, Malawi

MALAWI - Chikwawa						
T8	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵ_t - extensão de tração	1,41E-04	2,69E-04	5,47E-04	1,08E-04	1,82E-04	3,60E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	318,9	43,9	4,4	681,9	149,4	17,2
ϵ_{dp} -extensão de compressão	-2,75E-04	-3,03E-04	-3,30E-04	-2,62E-04	-2,87E-04	-3,14E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	34,0	23,1	16,4	41,3	28,7	20,0
Classes de tráfego após cálculo	> T8!!	T8	T5	> T8!!	T8	T8
Variação (%)	+11,8	-	-74,1	+27,3	-	-

Quadro III.65 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura W1 – T8 para Tete, Moçambique

MOÇAMBIQUE - Tete						
T8	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵ_t - extensão de tração	1,17E-04	2,16E-04	5,47E-04	1,01E-04	1,59E-04	3,59E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	542,5	88,1	4,4	815,1	222,4	17,4
ϵ_{dp} -extensão de compressão	-2,66E-04	2,94E-04	-3,29E-04	-2,59E-04	-2,80E-04	-3,14E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	38,8	26,0	16,6	43,2	31,6	20,0
Classes de tráfego após cálculo	> T8!!	T8	T5	> T8!!	> T8!!	T8
Variação (%)	+22,8	-	-74,1	+30,6	+5,2	-

Quadro III.66 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura W1 – T8 para Dodoma, Tanzânia

TANZÂNIA - Dodoma						
T8	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵ_t - extensão de tração	7,52E-05	1,08E-04	1,59E-04	6,36E-05	9,00E-05	1,28E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	1717,0	681,9	222,4	2552,5	1099,3	418,5
ϵ_{dp} -extensão de compressão	-2,42E-04	-2,62E-04	-2,80E-04	-2,35E-04	-2,53E-04	-2,70E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	56,7	41,3	31,6	63,8	47,5	36,6
Classes de tráfego após cálculo	> T8!!	> T8!!	> T8!!	> T8!!	> T8!!	> T8!!
Variação (%)	+47,1	+27,3	+5,2	+53,0	+36,8	+18,0

Quadro III.67 – Número acumulado de eixos padrão para a estrutura W1 – T8 para Kigoma, Tanzânia

TANZÂNIA - Kigoma						
T8	20 km/h			50 km/h		
	40/50	60/70	80/100	40/50	60/70	80/100
ϵ_t - extensão de tração	8,17E-05	1,17E-04	1,82E-04	7,00E-05	9,52E-05	1,59E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	1402,3	542,5	149,4	2032,4	948,6	222,4
ϵ_{dp} -extensão de compressão	-2,47E-04	-2,66E-04	-2,87E-04	-2,38E-04	-2,55E-04	-2,80E-04
N_{80} (milhões de eixos padrão)	52,3	38,8	28,7	60,6	46,0	31,6
Classes de tráfego após cálculo	> T8!!	> T8!!	T8	> T8!!	> T8!!	> T8!!
Variação (%)	+42,6	+22,8	-	+50,5	+34,8	+5,2

ANEXO IV: NÚMERO ACUMULADO DE EIXOS PADRÃO PARA AS ESTRUTURAS DE PAVIMENTO D1 EM FUNÇÃO DA CLASSE DE TRÁFEGO, VELOCIDADE E TIPO DE BETUME ADOTADO, PARA CADA LOCALIZAÇÃO - GRÁFICOS

Figura IV.1 - Número acumulado de eixos-padrão para a estrutura D1 – T6 - S4 das localizações Namibe (Angola) e Mariental (Namíbia)

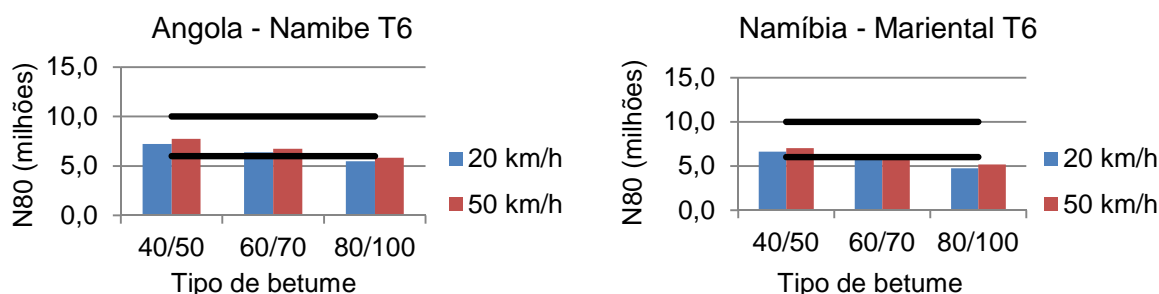


Figura IV.2 - Número acumulado de eixos-padrão para a estrutura D1 – T7 - S4 das localizações Namibe (Angola) e Mariental (Namíbia)

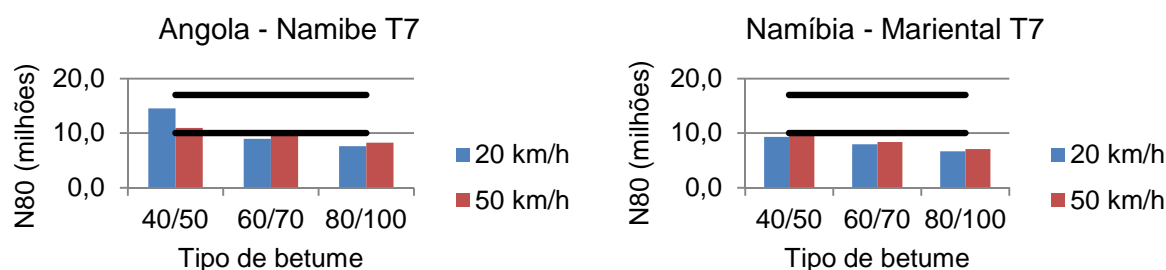
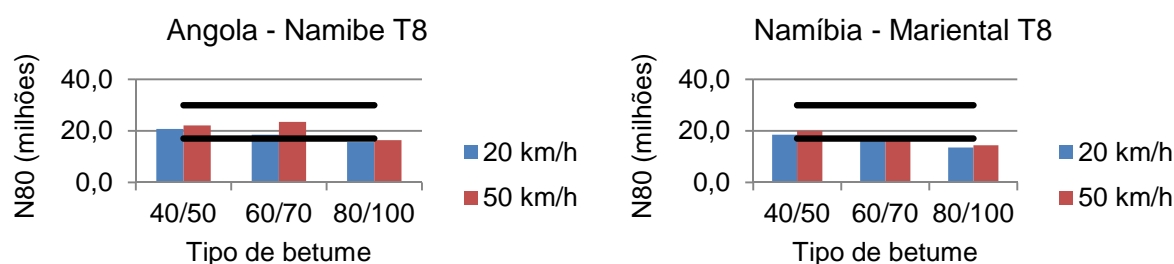


Figura IV.3 - Número acumulado de eixos-padrão para a estrutura D1 – T8 - S4 das localizações Namibe (Angola) e Mariental (Namíbia)



ANEXO V: NÚMERO ACUMULADO DE EIXOS PADRÃO PARA AS ESTRUTURAS DE PAVIMENTO W1 EM FUNÇÃO DA CLASSE DE TRÁFEGO, VELOCIDADE E TIPO DE BETUME ADOTADO, PARA CADA LOCALIZAÇÃO - GRÁFICOS

Figura V.4 - Número acumulado de eixos-padrão para a estrutura W1 – T3 - S4 dos vários grupos de localizações

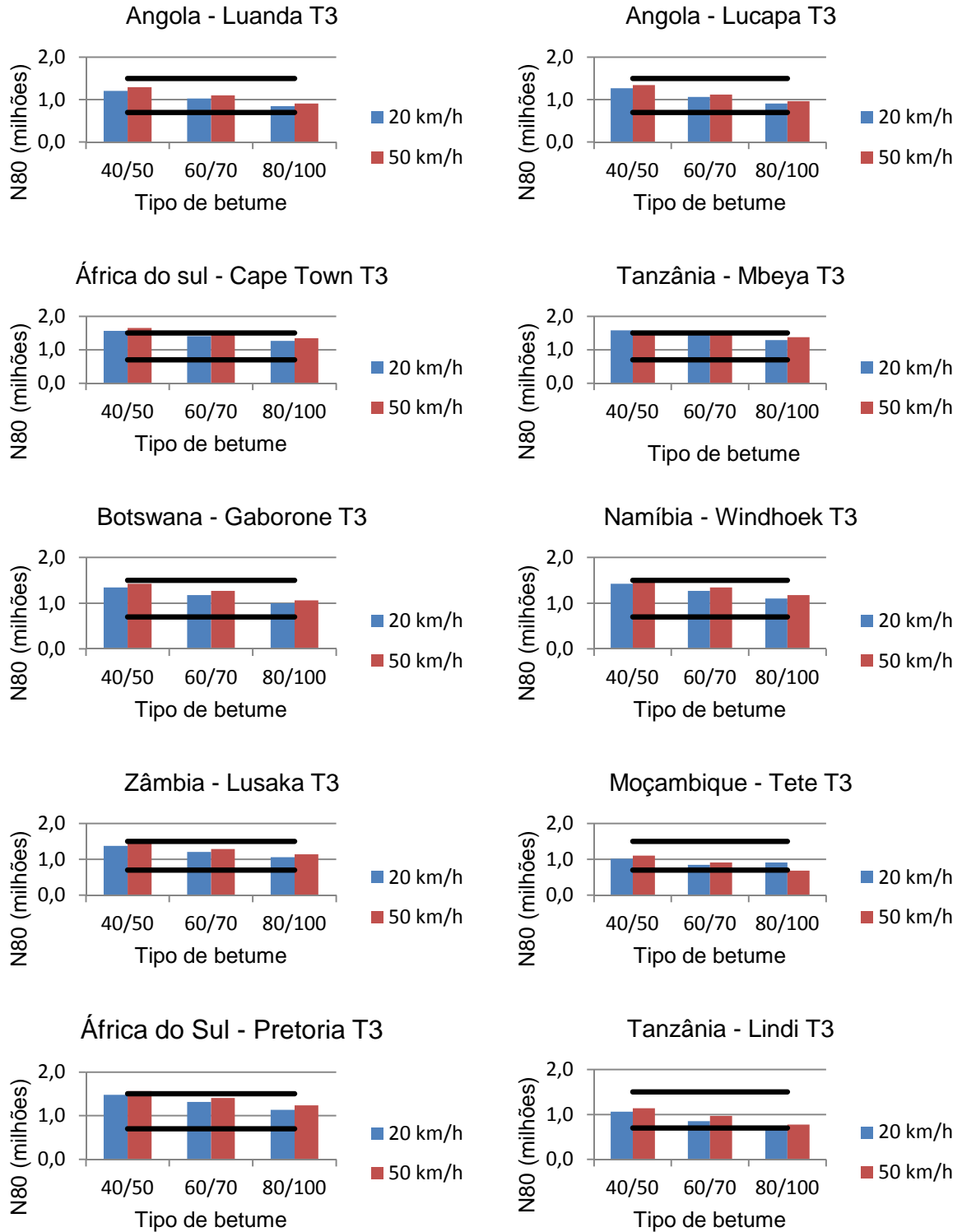


Figura V.5 – Relação entre temperatura de serviço e os números acumulados de eixos-padrão para a estrutura W1 – T3 - S4 dos vários grupos de localizações, dimensionadas com $v = 20 \text{ km/h}$

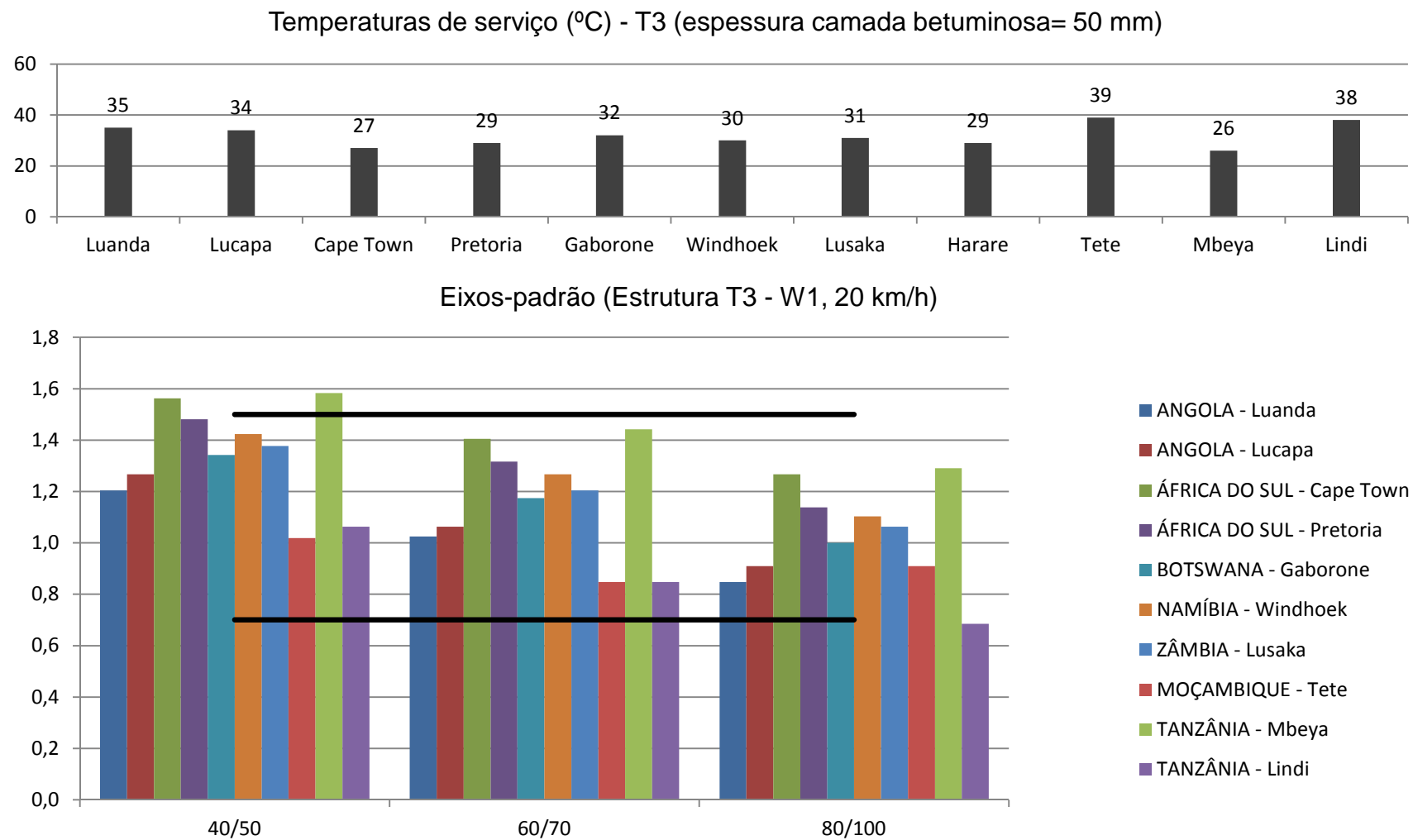


Figura V.6 – Relação entre temperatura de serviço e os números acumulados de eixos-padrão para a estrutura W1 – T3 - S4 dos vários grupos de localizações, dimensionadas com $v = 50 \text{ km/h}$

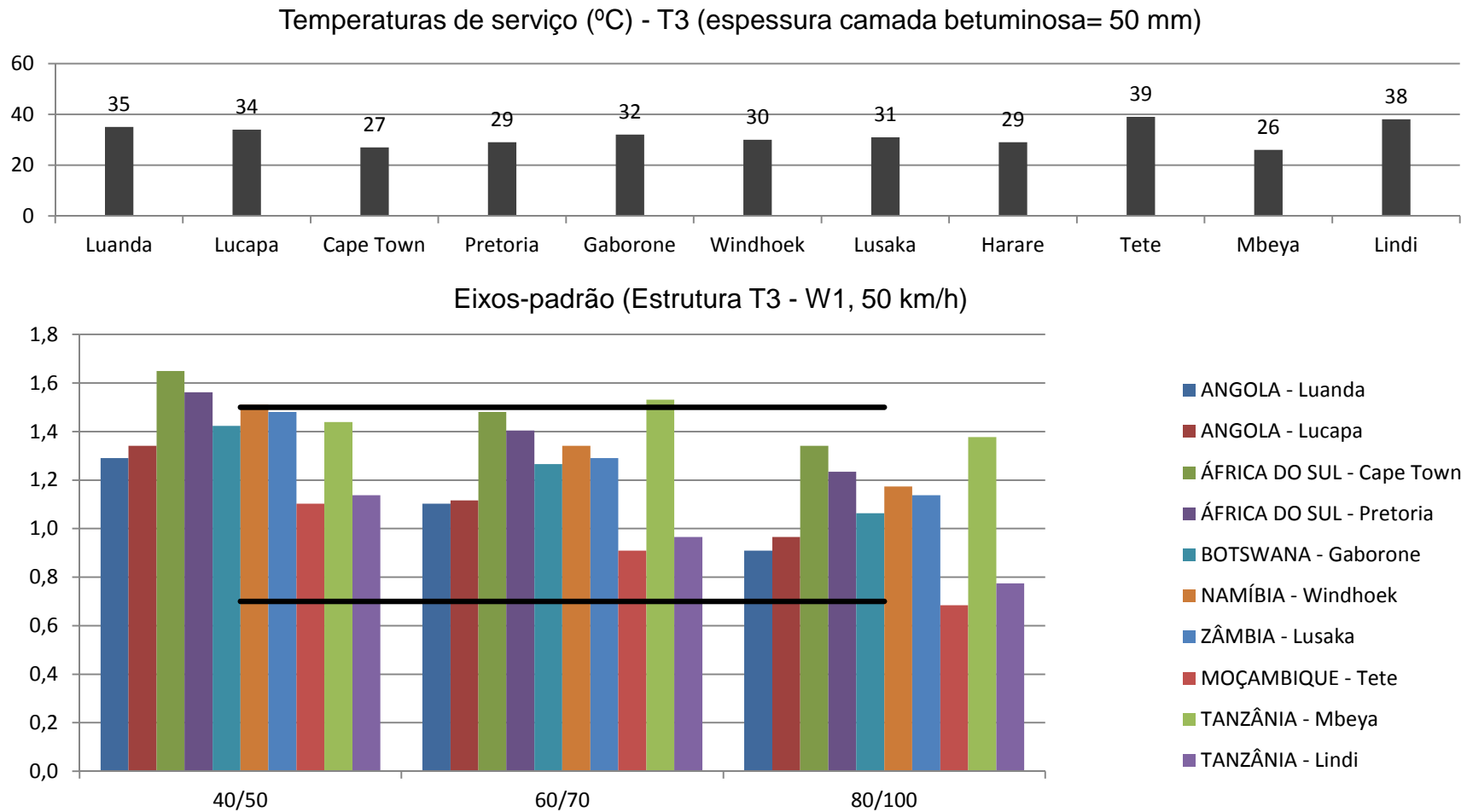


Figura V.7 - Número acumulado de eixos-padrão para a estrutura W1 – T4 - S4 dos vários grupos de localizações

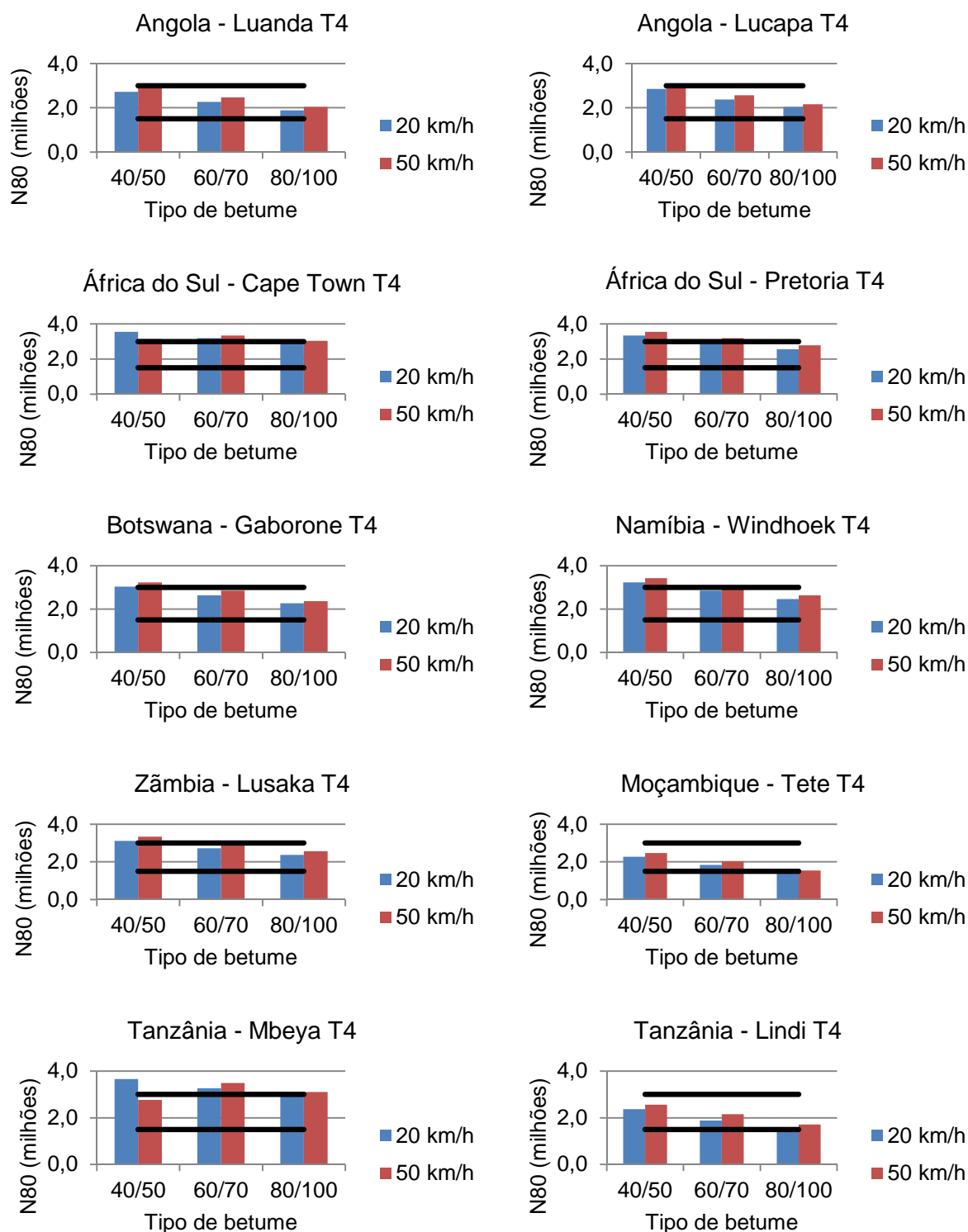


Figura V.8 – Relação entre temperatura de serviço e os números acumulados de eixos-padrão para a estrutura W1 – T4 - S4 dos vários grupos de localizações, dimensionadas com $v = 20\text{km/h}$

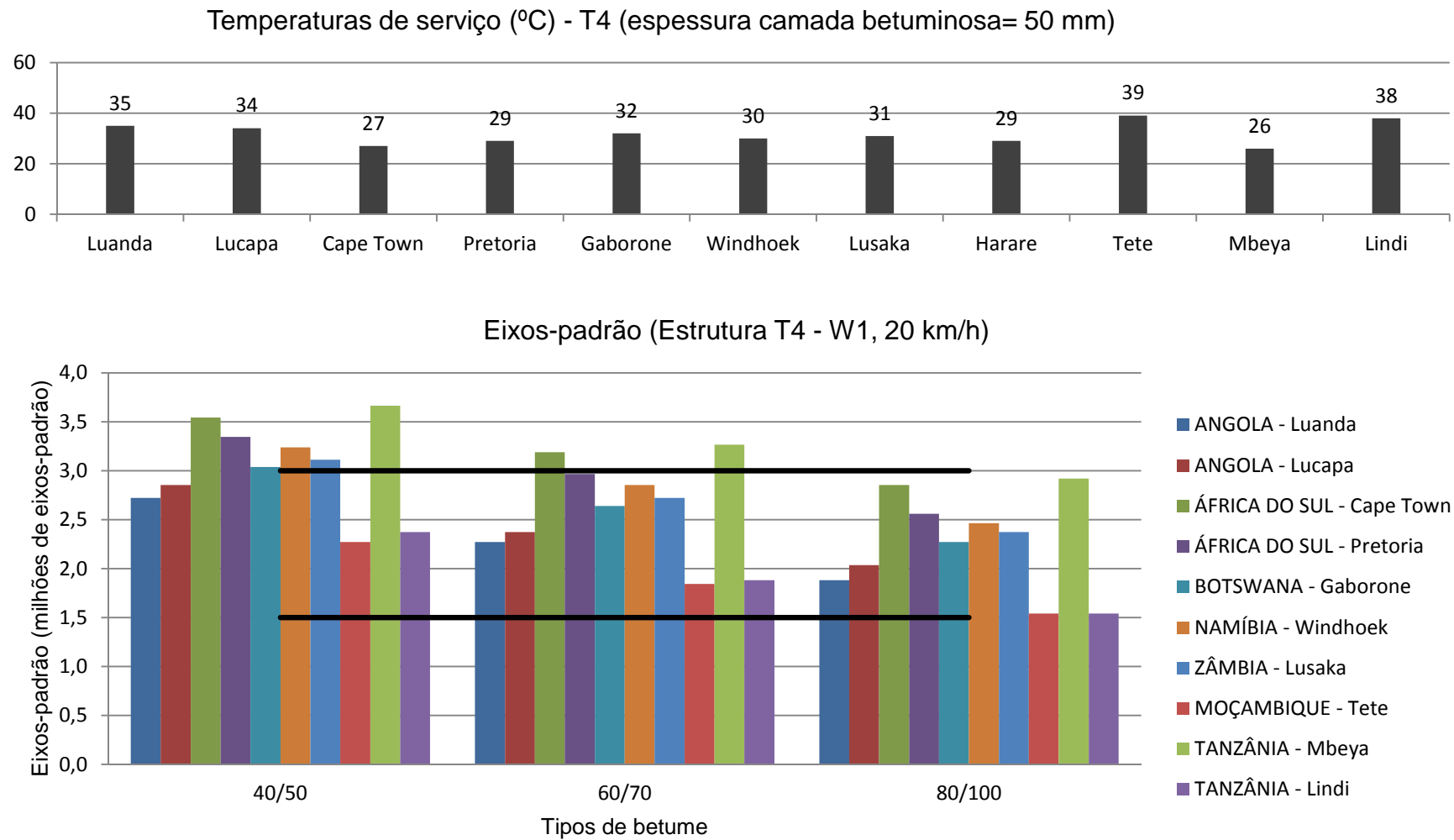


Figura V.9 – Relação entre temperatura de serviço e os números acumulados de eixos-padrão para a estrutura W1 – T4 - S4 dos vários grupos de localizações, dimensionadas com $v = 50 \text{ km/h}$

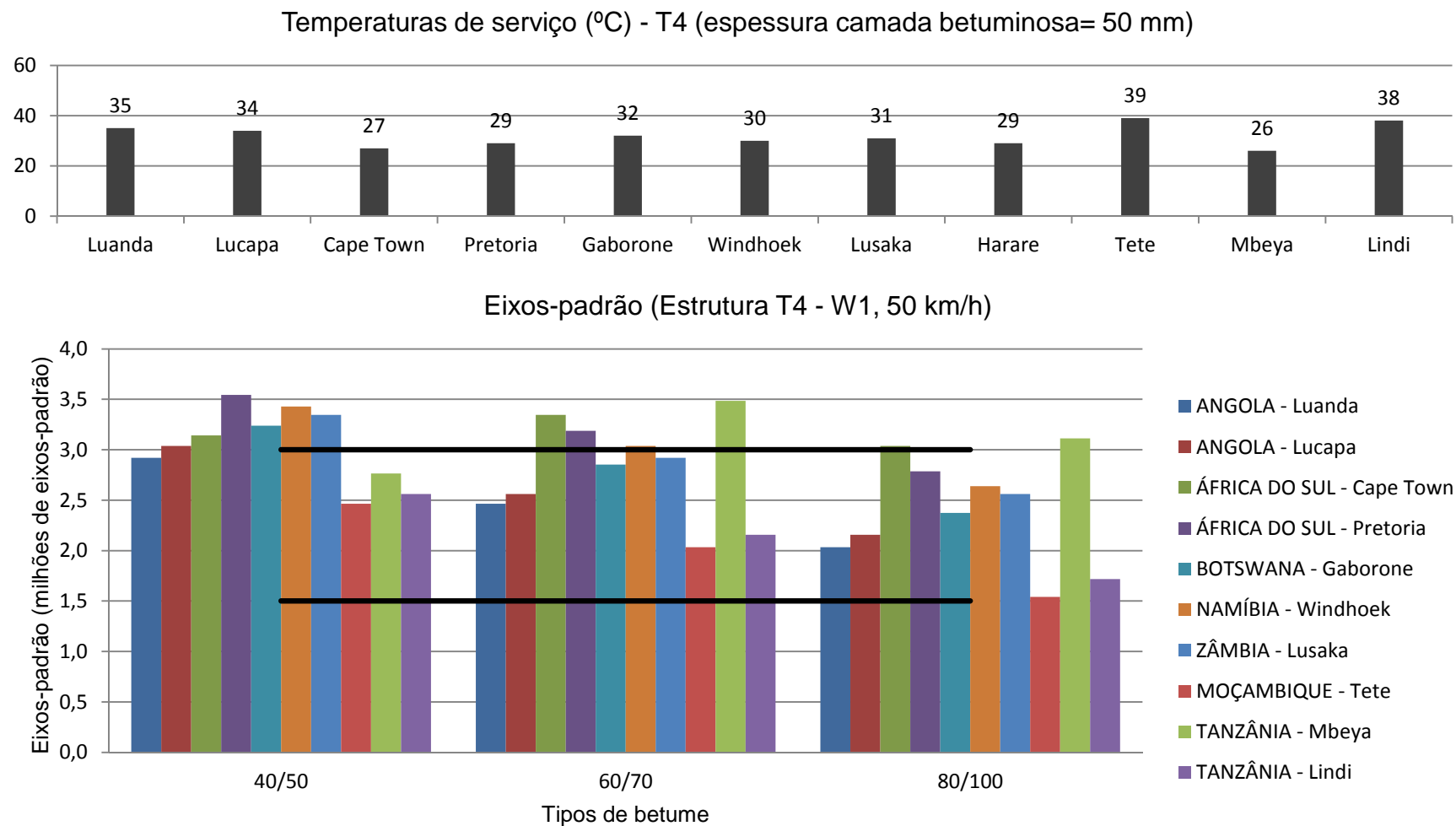


Figura V.10 - Número acumulado de eixos-padrão para a estrutura W1 – T5 - S4 dos vários grupos de localizações

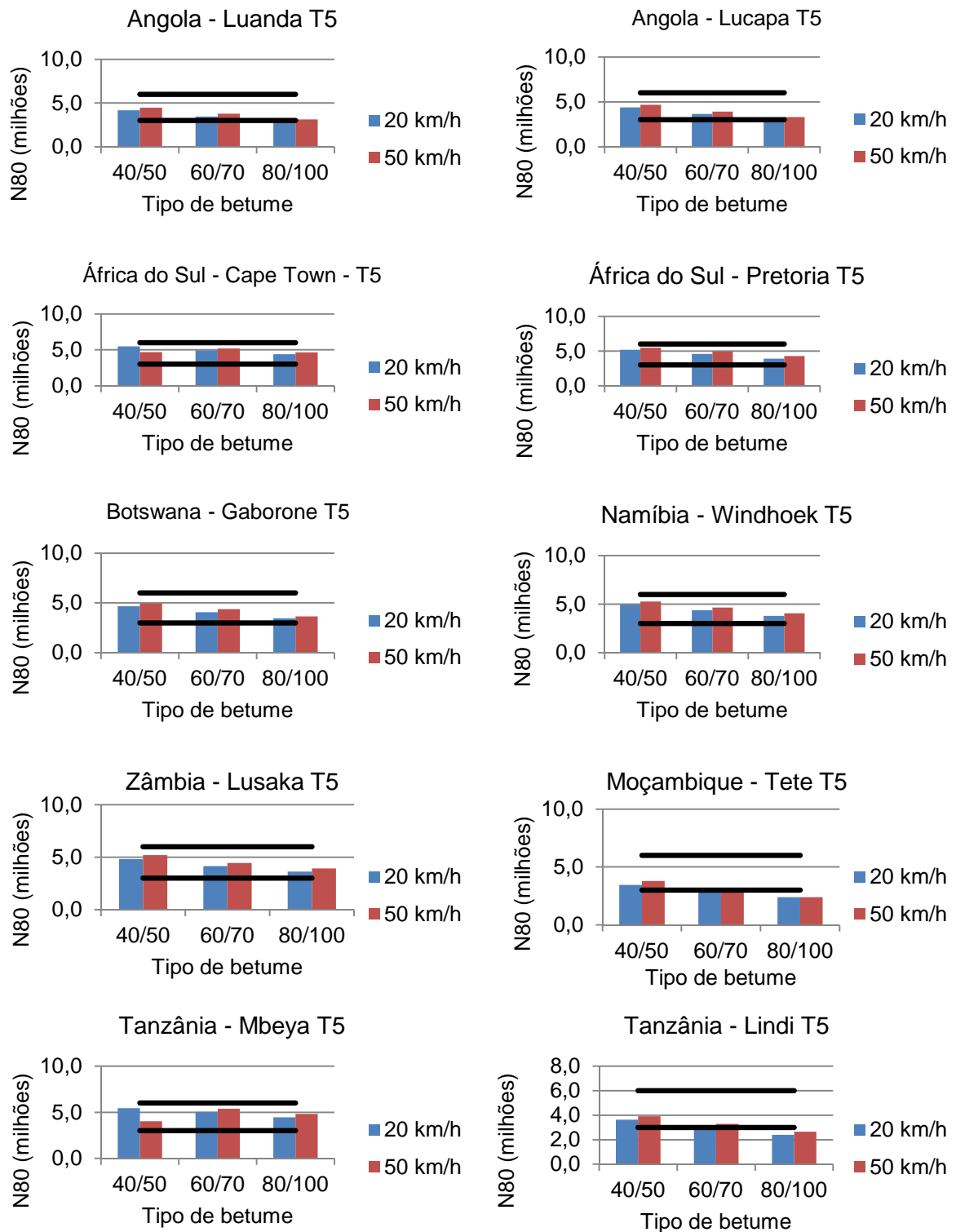


Figura V.11 – Relação entre temperatura de serviço e os números acumulados de eixos-padrão para a estrutura W1 – T5 - S4 dos vários grupos de localizações, dimensionadas com $v = 20 \text{ km/h}$

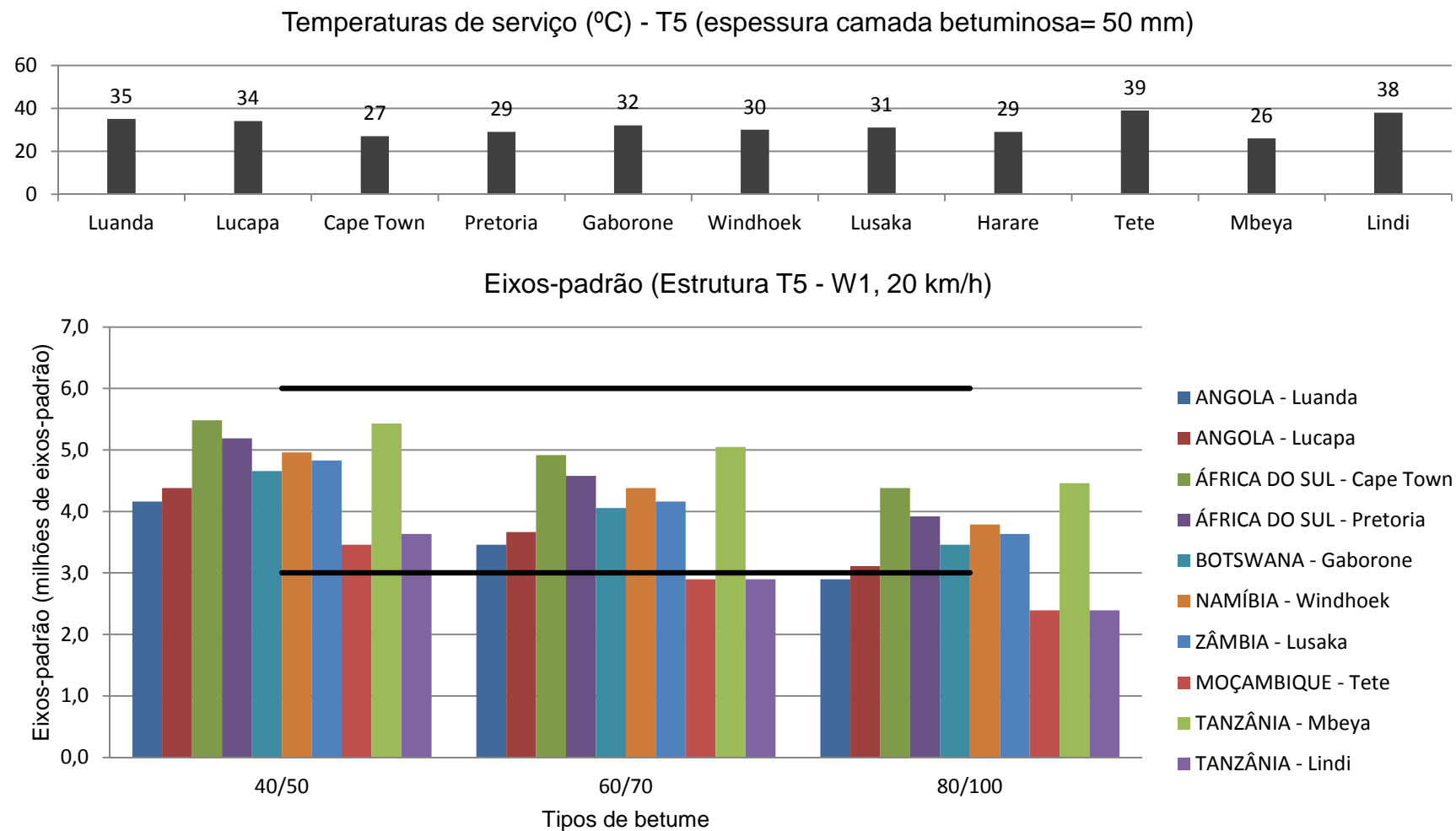


Figura V.11 – Relação entre temperatura de serviço e os números acumulados de eixos-padrão para a estrutura W1 – T5 - S4 dos vários grupos de localizações, dimensionadas com $v = 50 \text{ km/h}$

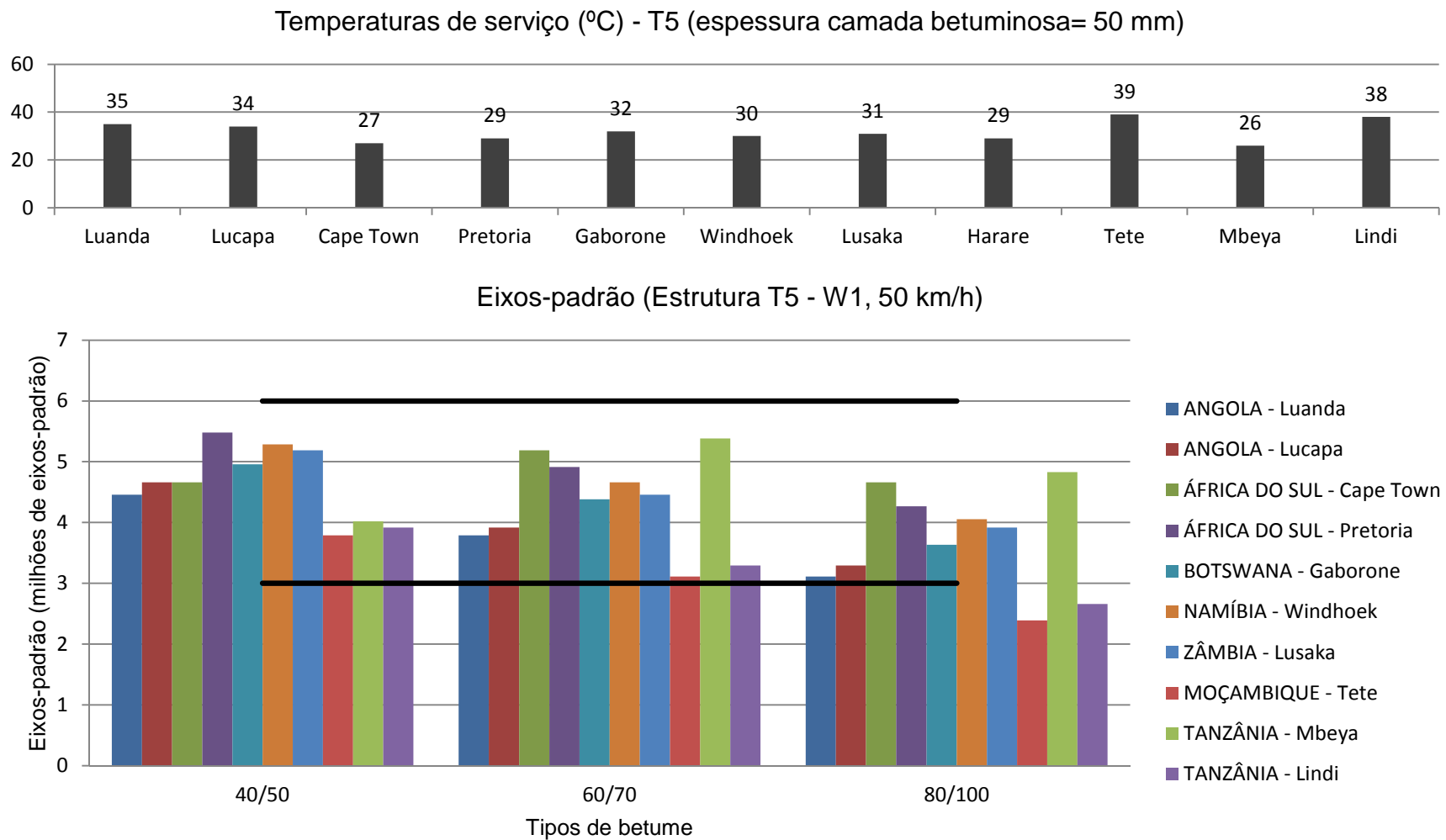
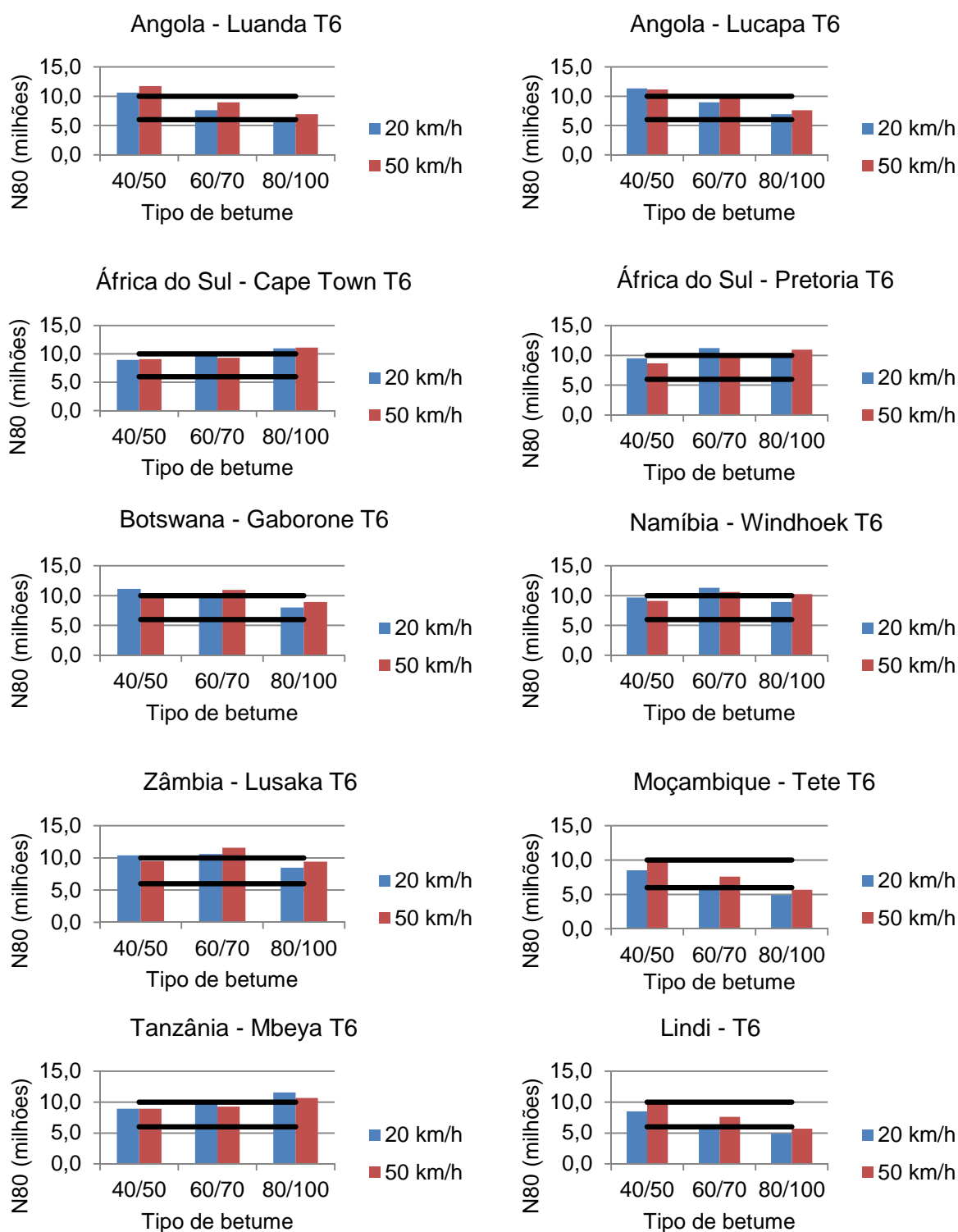


Figura V.12 - Número acumulado de eixos-padrão para a estrutura W1 – T6 - S4 dos vários grupos de localizações



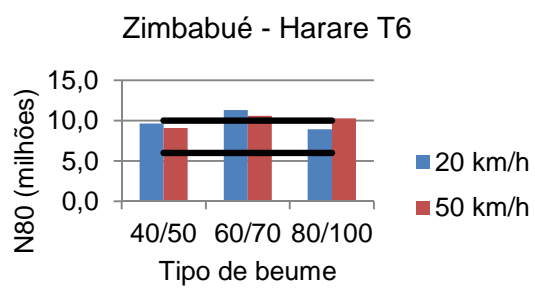
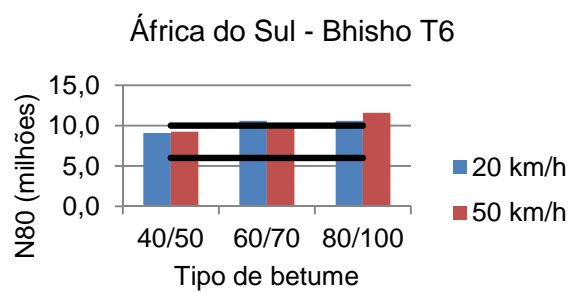


Figura V.13 – Relação entre temperatura de serviço e os números acumulados de eixos-padrão para a estrutura W1 – T6 - S4 dos vários grupos de localizações, dimensionadas com $v = 20\text{ km/h}$

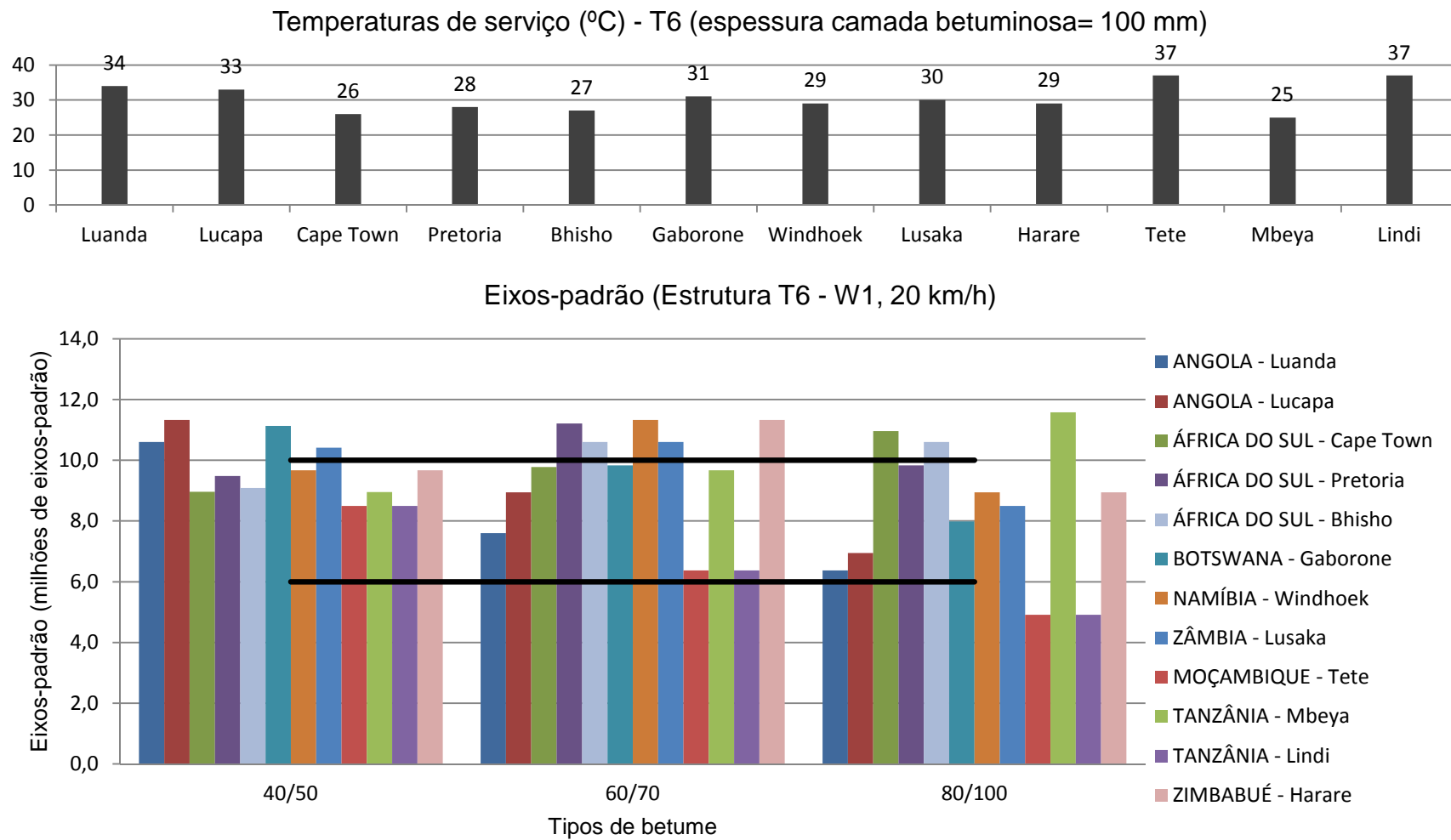


Figura V.14 – Relação entre temperatura de serviço e os números acumulados de eixos-padrão para a estrutura W1 – T6 - S4 dos vários grupos de localizações, dimensionadas com $v = 50 \text{ km/h}$

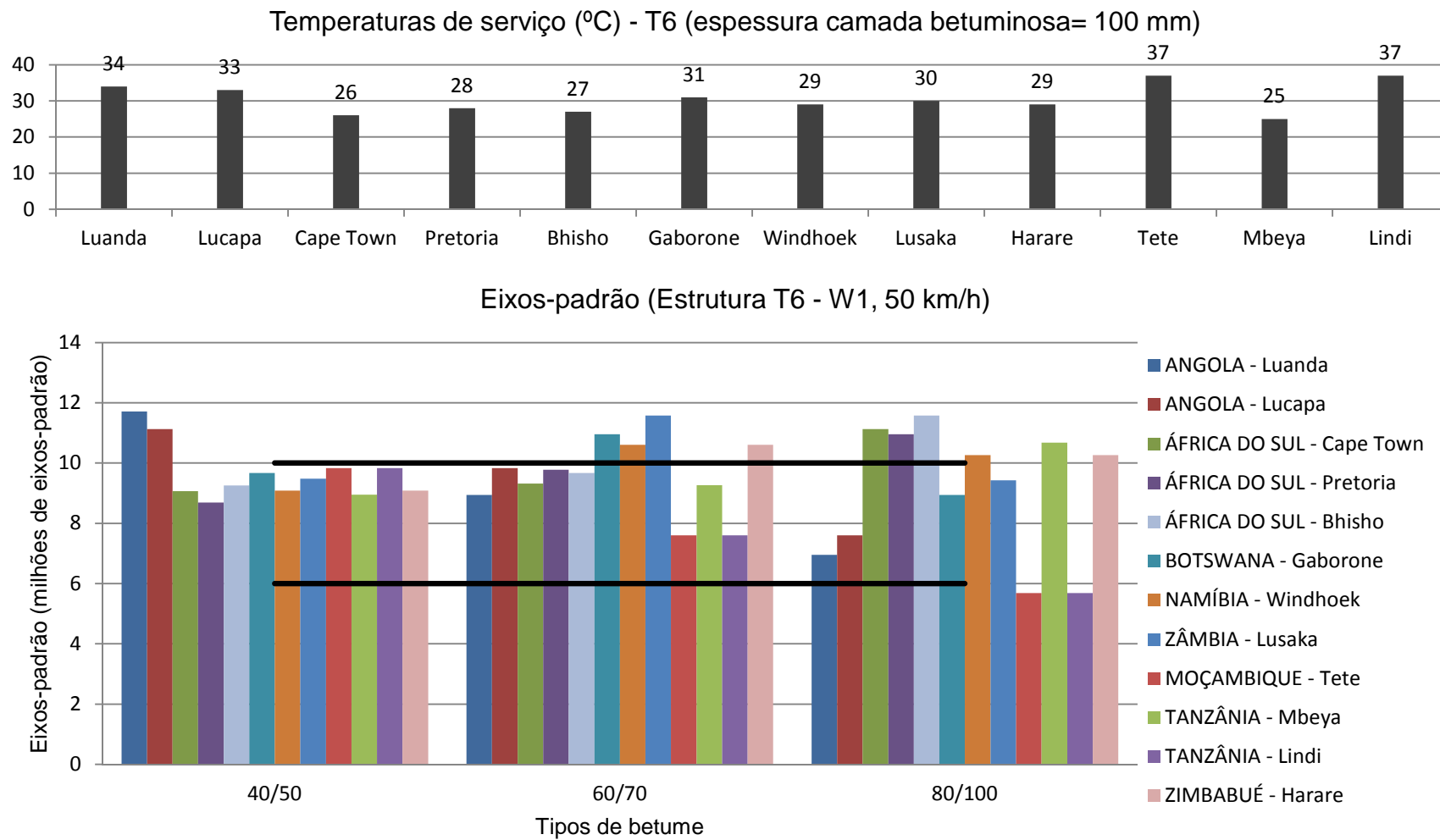
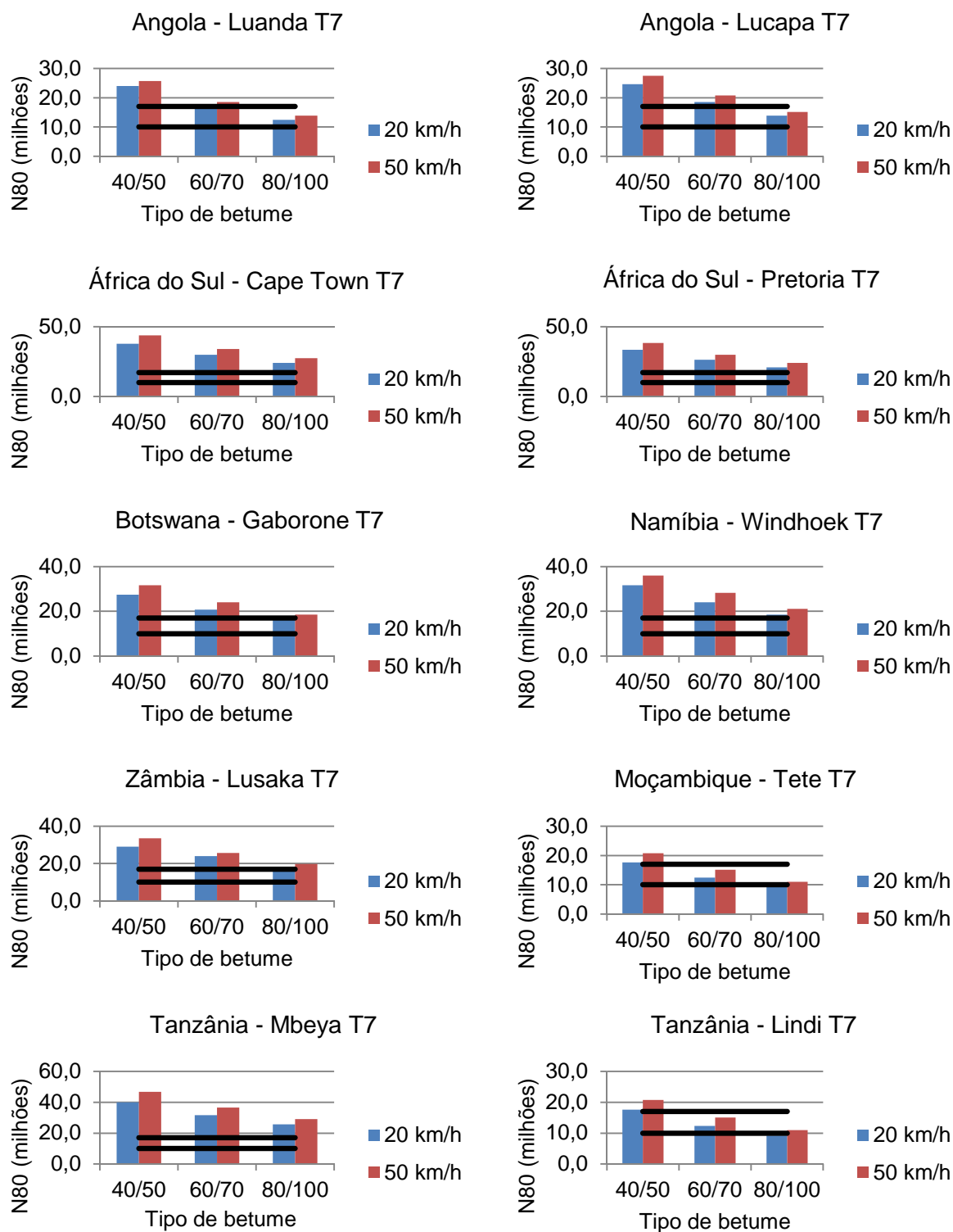


Figura V.15 - Número acumulado de eixos-padrão para a estrutura W1 – T7 - S4 dos vários grupos de localizações



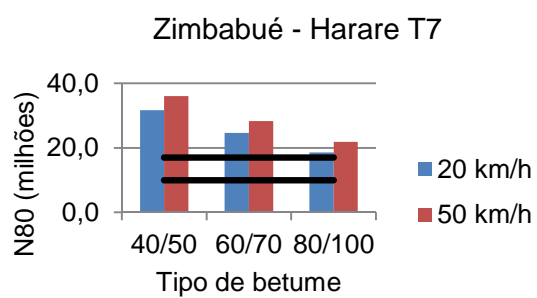
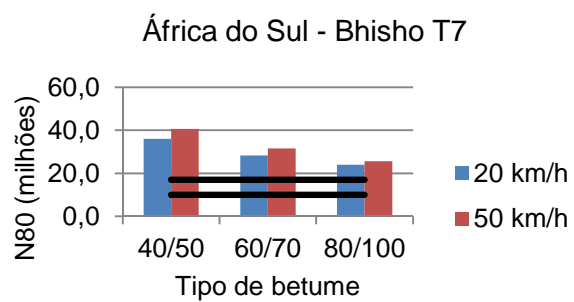


Figura V.16 – Relação entre temperatura de serviço e os números acumulados de eixos-padrão para a estrutura W1 – T7 - S4 dos vários grupos de localizações, dimensionadas com $v = 20\text{km/h}$

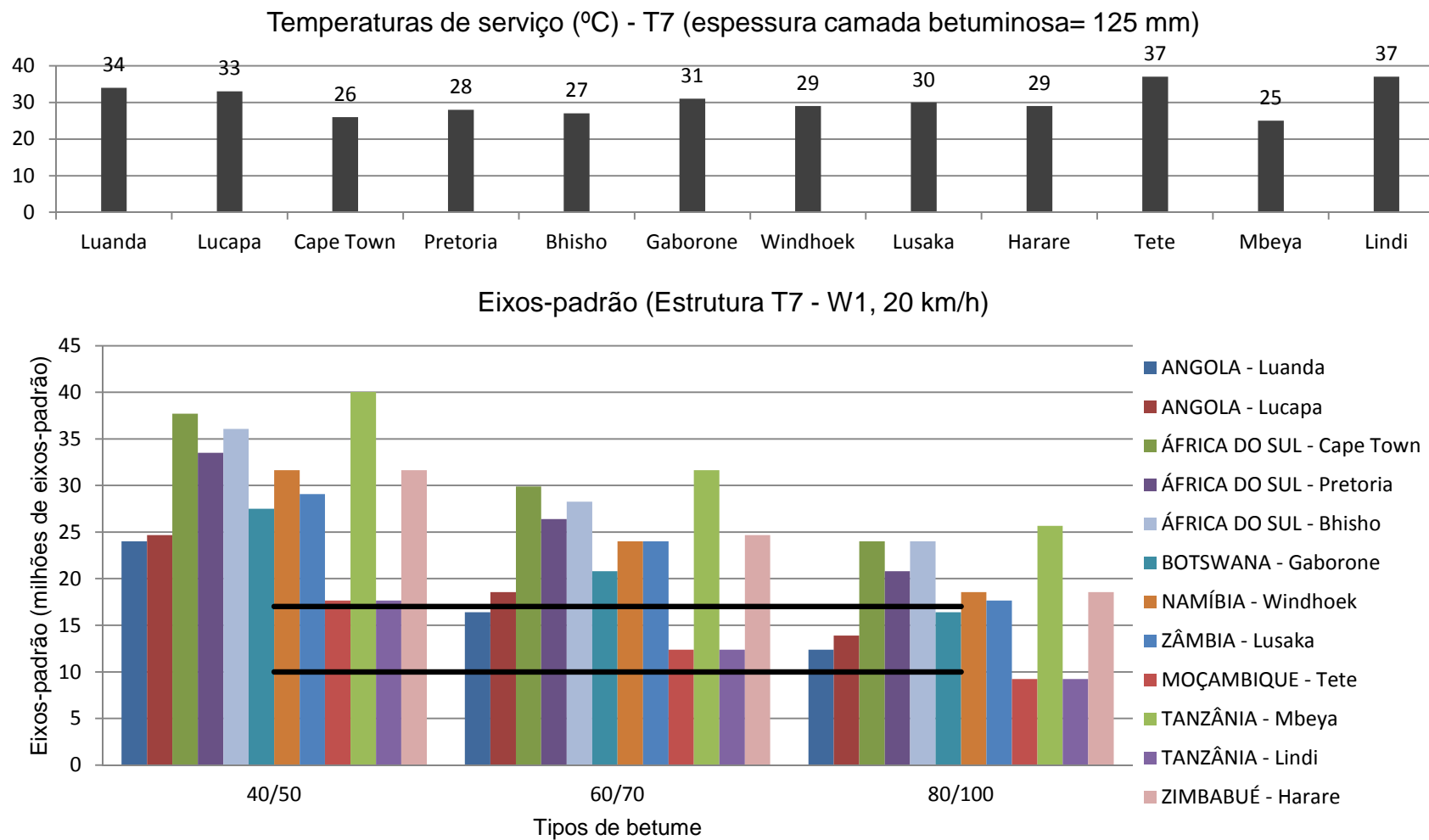


Figura V.17 – Relação entre temperatura de serviço e os números acumulados de eixos-padrão para a estrutura W1 – T7 - S4 dos vários grupos de localizações, dimensionadas com $v = 50 \text{ km/h}$

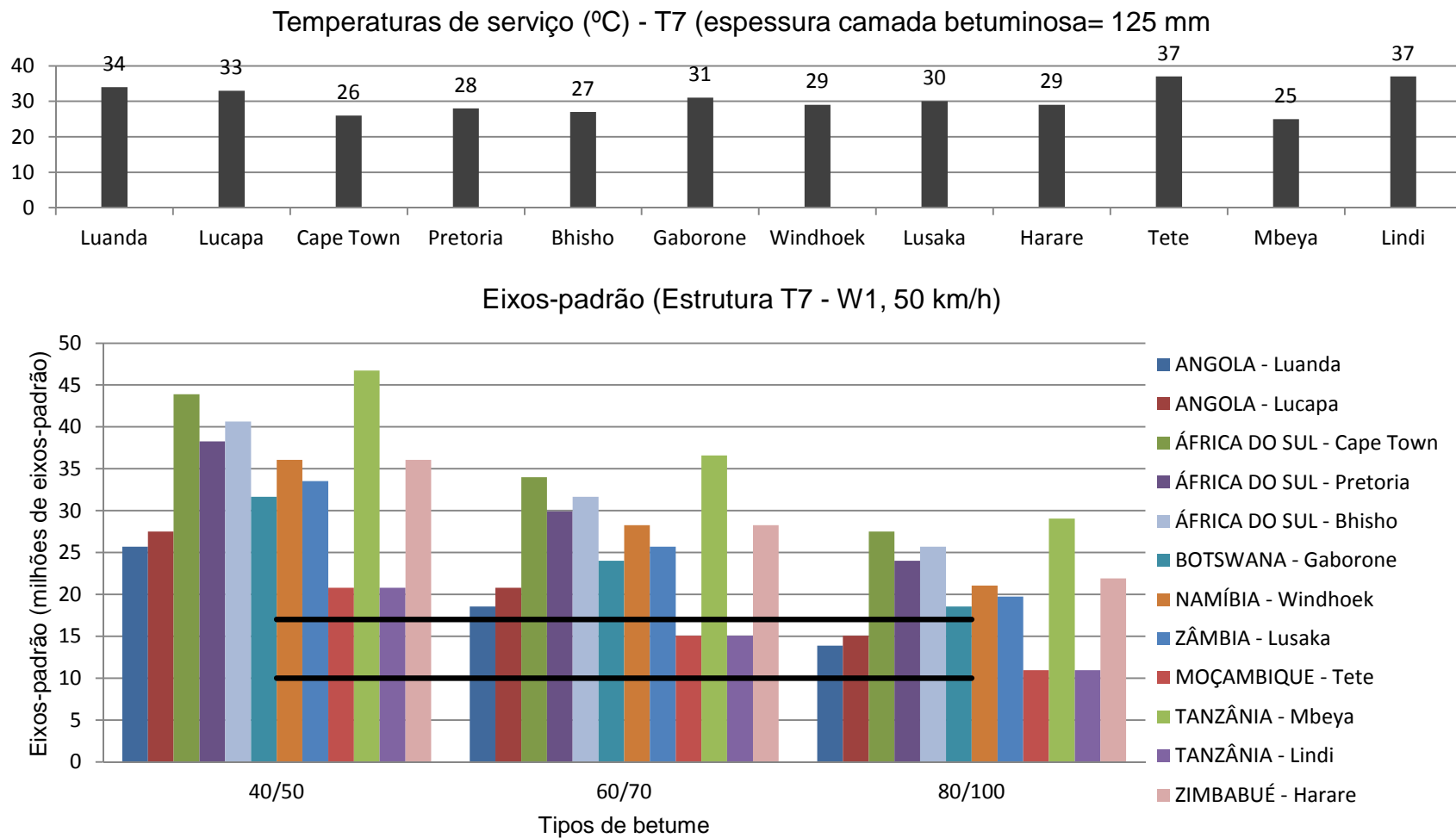


Figura V.18 - Número acumulado de eixos-padrão para a estrutura W1 – T8 - S4 dos vários grupos de localizações

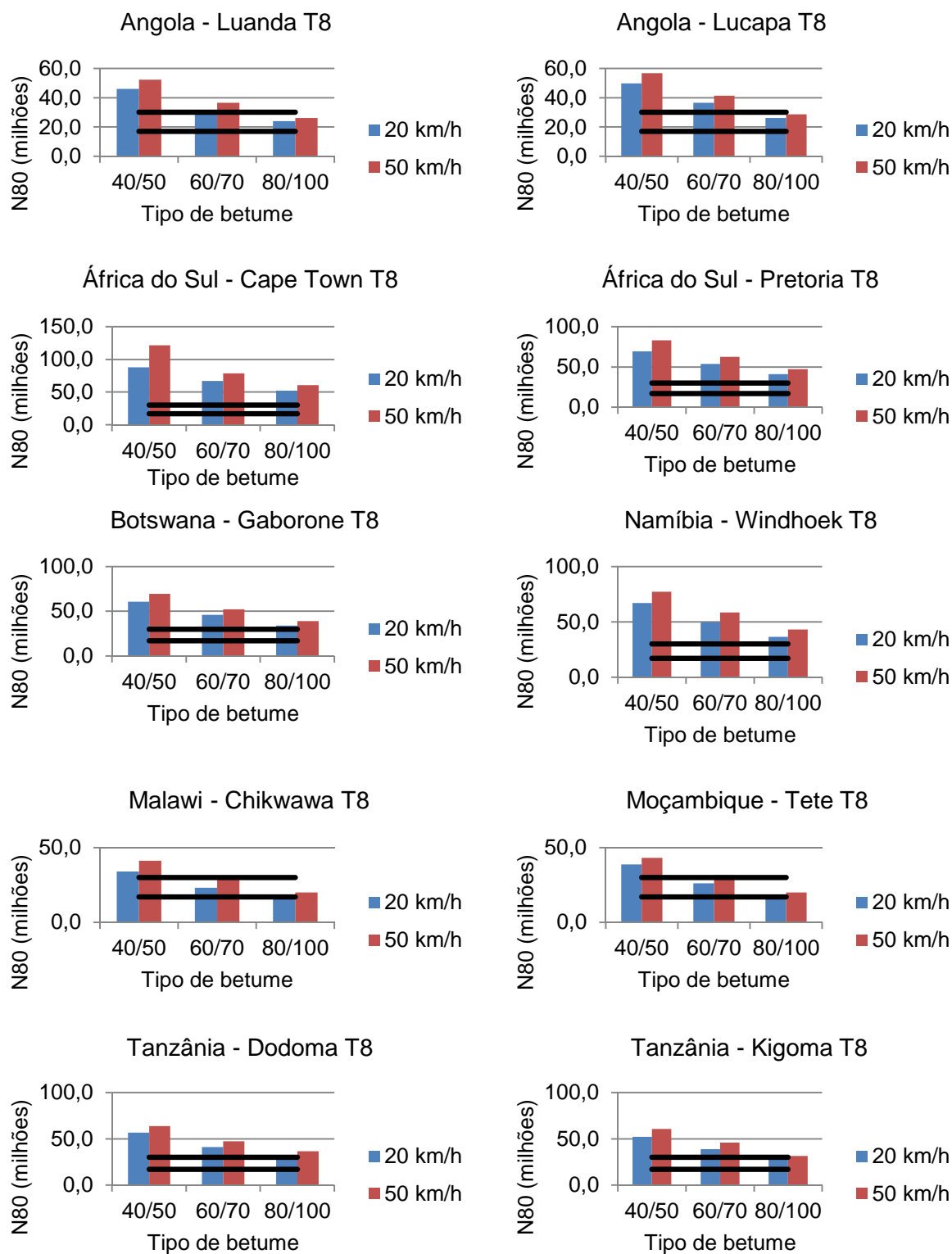


Figura V.18 – Relação entre temperatura de serviço e os números acumulados de eixos-padrão para a estrutura W1 – T8 - S4 dos vários grupos de localizações, dimensionadas com $v = 20\text{ km/h}$

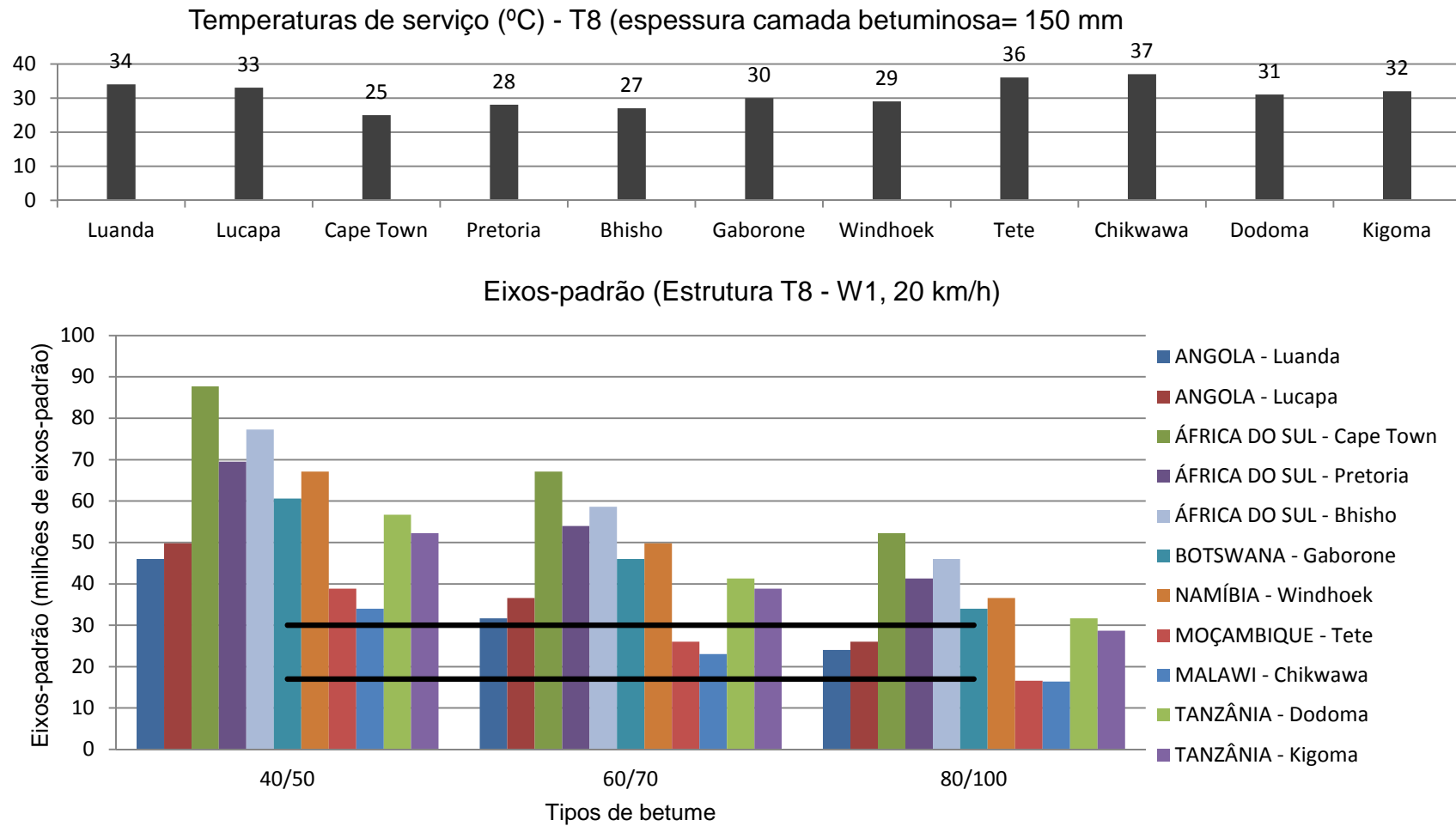


Figura V.19 – Relação entre temperatura de serviço e os números acumulados de eixos-padrão para a estrutura W1 – T8 - S4 dos vários grupos de localizações, dimensionadas com $v = 50 \text{ km/h}$

